



VIALIDAD Y TRANSPORTE

LATINOAMERICANO

Edición internacional
Año 1 - N° 04
Octubre - Diciembre 2015
Lima, Perú

Foto: ANDINA

Historia
**Los caminos
en la República**

Informe
**El 1er. Congreso
del ILIEV en Lima**

Tecnología
**Agregados pétreos
para su empleo en
pavimentos asfálticos**

Factores recurrentes en el Perú

Inseguridad vial



Más allá
siempre

INGENIERÍA, SUMINISTRO E INSTALACIÓN

Somos un Grupo comprometido a brindar soluciones integrales para proyectos de
INFRAESTRUCTURA Y CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS



(511) 617 - 4700

Alameda Los Horizontes N° 905
Urb. Los Huertos de Villa, Chorrillos Lima – Perú

www.grupotdm.com
contactenos@grupotdm.com

p06

La inseguridad vial en el Perú

El altísimo número de muertos y heridos debido a accidentes de tránsito constituye un grave problema aún sin resolver en el Perú y otros países de la región.

p12

El primer congreso del ILIEV

Durante dos días, expertos de diversos países se reunieron en Lima, Perú, y disertaron en torno a los aspectos técnicos y científicos del asfalto.



p16

Agregados para carreteras

Artículo que recoge parte de una de las conferencias magistrales del Congreso del ILIEV, relativa a los agregados pétreos para su empleo en pavimentos asfálticos.

p26

La importancia del CILA

Desde hace más de tres décadas, cada dos años, técnicos de los países iberoamericanos se reúnen para debatir y compartir los avances tecnológicos y experiencias del ámbito del asfalto.

p30

Comportamiento de ligantes asfálticos y mezclas asfálticas

Los objetivos de este trabajo son evaluar el comportamiento de los asfaltos peruanos convencionales.

p44

Rehabilitación del aeropuerto de Isla de Coche

La rehabilitación estructural del aeropuerto de Isla de Coche -pequeña isla vecina a la isla de Margarita- en el Caribe venezolano.

p50

Losas de Geometría Optimizadas

Los pavimentos de losas con geometría optimizada corresponden a una de las 12 innovaciones más importantes en los últimos años en el diseño de pavimentos de concreto.

p58

Economías de escala en pavimentos

Las economías de escala se presentan cuando un aumento en los insumos productivos resulta en aumentos más que proporcionales en el nivel del producto.

p66

Capeseal: primeras experiencias en Uruguay

Una combinación de un tratamiento superficial simple con un microaglomerado en frío que recién en los últimos años ha llegado a nuestra región.



DIRECTOR: Ing. Jorge Lazarte Conroy
GERENTE: Adrián Honorio

PRODUCCIÓN EDITORIAL: G7 consultores SAC

COLABORADORES: Lino de la Barrera Laca, M. Elena Hidalgo Pérez, Ricardo Bisso Fernández, Augusto Jugo B, José V. Heredia T., Juan Pablo Cobarruvias, Lucio Cáceres, Santiago Kröger, Luis Guillermo Loría Salazar, Edgar Camacho Garita, Jorge Ribeiro Santos, Pamela Santa Cruz, David Canelas.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN: Ronald Cossio Q.

OFICINA DE REDACCIÓN: Dirección: Jr. Montecarlo 260 (int.402) – Surco. Teléfono: 992-823-379 / 942-784-928 E-mail: revista@vialidadytransporte.com
Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2015-02266

www.vialidadytransporte.com

Es una publicación de JORLACO EDICIONES S.A.C.
EDICIÓN INTERNACIONAL - DISTRIBUCIÓN GRATUITA



Ing. Jorge Lazarte Conroy

Autoridades impasibles

Cada algún tiempo circulan en Perú las noticias sobre ciertos puentes dañados por la colisión de un camión con carga excesivamente alta o porque pasó un camión con sobrecarga. De inmediato, las responsabilidades son atribuidas a los conductores o dueños del vehículo. Sin embargo, en muchos casos, la verdad es otra.

Existe en el país una norma que establece que los puentes que cruzan las carreteras deben ser construidos con una altura mínima de 5.50 m., sin embargo, cuando las autoridades otorgan las autorizaciones de construcción, o efectúan las supervisiones, éstas se dan con elevaciones menores. Los transportistas alistan sus cargas con la altura establecida por la norma, pero, finalmente, ya en plena carretera, se dan con la ingrata sorpresa que los puentes son más bajos y chocan sin remedio. ¿Quiénes son responsables de las colisiones? La respuesta es obvia.

Cuando se cae un puente nuevo lo más probable es que se deba a una mala construcción y/o a un mal diseño ¿la responsabilidad no es de la entidad nacional supervisora? Y si se cae un puente antiguo que no ha tenido mantenimiento, ¿quién es el responsable? La respuesta también es obvia. Parece ser que en todos los casos la responsabilidad está en manos del Estado. Luego la solución debería ser fácil de resolver, ¿por qué no se hace?

¿Será que el argumento de descargo de las autoridades responsables es que si el puente se construye más alto o se da el mantenimiento que especifica las normas o se hace una adecuada supervisión, será más caro y prefieren ahorrar para hacer otras obras?. Entonces surge la otra pregunta: ¿por qué no cambian la norma y convierten a las carreteras más seguras de lo que ya son? Este problema no solo está en los puentes, también se ve en el radio mínimo de curvas y en la drástica disminución del ancho de las bermas, entre otros. En

estos puntos no hay respuesta, solo silencio e impasibilidad. ¿Qué hacer?

Esta es solo una perla de las numerosas contradicciones y deficiencias existentes en la vialidad peruana, entre las normas del sector Transporte y las decisiones que adoptan las autoridades: una cosa dicen las normativas, y otra la realidad. Las autoridades autorizan puentes, carreteras y autopistas con características distintas a las que mandan las normas y las especificaciones técnicas. Y lo que es peor, pocos o nadie intenta solucionar esta situación caótica.

En esta misma edición, el artículo principal sobre Seguridad Vial muestra un panorama desolador en ese aspecto. Las revisiones técnicas que se cumplen parcialmente, deficiente sistema de expediciones de licencias de conducir, inaplicación de las normas de sanción para peatones imprudentes, etc. Todos esos factores influyen en la inseguridad vial, pero más allá de alguna declaración mediática rimbombante, son solo un saludo a la bandera sobre el tema. En resumen, la autoridad impasible y una población indiferente.

Como editorializamos en la edición anterior de esta misma revista, existen en el Perú muchísimas normas elaboradas, pero muy pocas se cumplen por responsabilidad exclusiva de las autoridades. Tal vez muchas de estas normas han sido elaboradas con muy buenas intenciones, pero también sabemos que, como reza el dicho popular, de buenas intenciones está empedrado el camino al infierno.

Desde esta tribuna y desde muchas otras, hemos reiterado nuestro llamado a tomar las cosas en serio. A asumir responsabilidades y compromisos destinados a construir un país mejor, un Perú diferente, más viable para las nuevas generaciones. Sin embargo, poco o nada se ha avanzado. Pese a todo, no nos cansaremos de seguir intentado contribuir con un granito de arena a mejorar el país.

El Director.

SOMOS EXPERTOS EN PRODUCTOS DE SEÑALIZACIÓN Y SOLUCIONES DE SEGURIDAD VIAL.



Nuestros Productos



Trabajamos con las mejores marcas



www.signovial.pe



La problemática de la Seguridad Vial

↳ LINO DE LA BARRERA LACA (*)

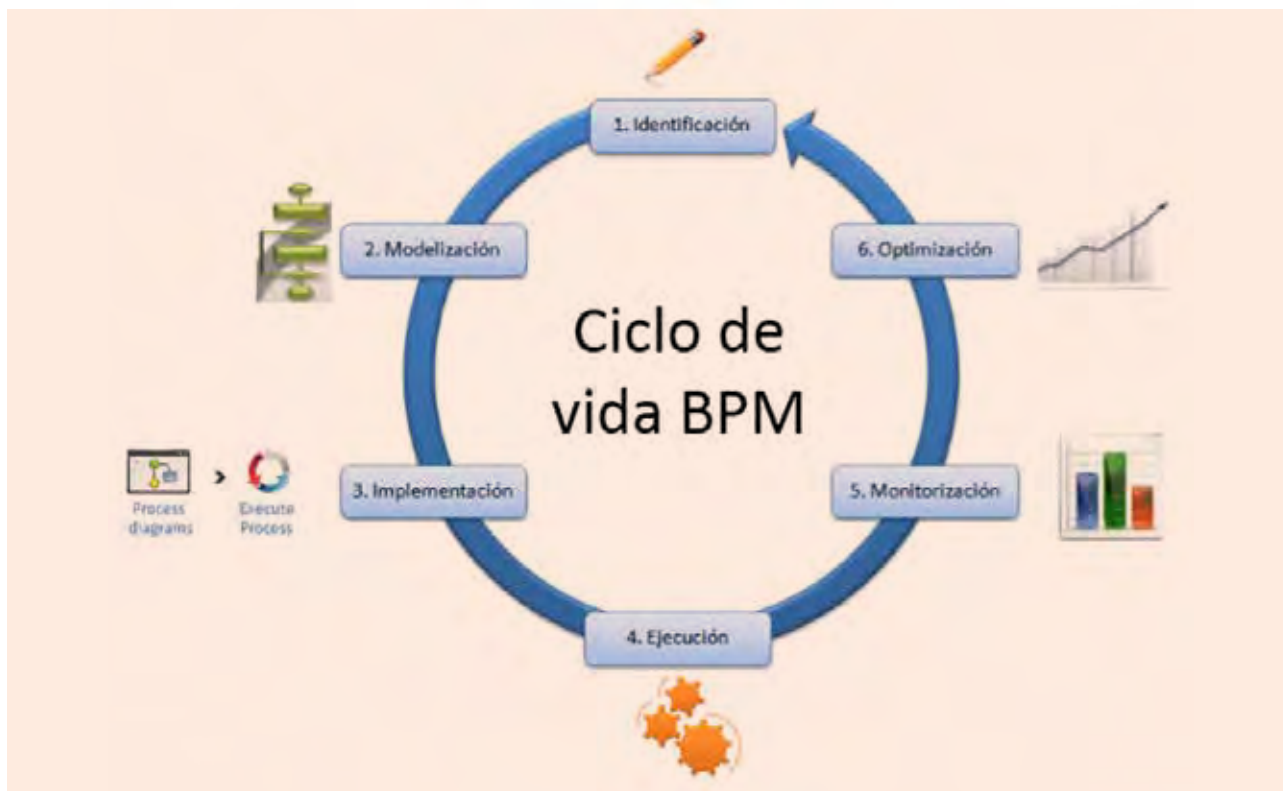


El altísimo número de muertos y heridos debido a accidentes de tránsito constituye un grave problema aún sin resolver en el Perú y otros países de la región. Desde el Estado se han dado varias normas en diversos aspectos referidos al tema, pero la mayoría son letra muerta. Nadie respeta esas normas, ni siquiera las autoridades.

Uno de los considerandos de la Declaración de Moscú del 2009 sobre Seguridad Vial dice: “Subrayando que las razones de las muertes y lesiones por accidentes de tránsito y sus consecuencias son conocidas y pueden prevenirse, y que entre esas razones figuran una velocidad inapropiada y excesiva; la conducción bajo los efectos del alcohol; el mal uso de los cinturones de seguridad, los sistemas de retención para niños, los cascos y demás equipo de seguridad; la utilización de vehículos viejos, mal mantenidos

o carentes de dispositivos de seguridad; las infraestructuras viales mal diseñadas o insuficientemente mantenidas, en particular infraestructuras que no protegen a los peatones; unos sistemas de transporte público deficientes o inseguros; la falta de leyes de tráfico o el escaso cumplimiento de las mismas; la falta de conciencia política, y la falta de servicios adecuados de atención traumatológica y rehabilitación”. Como se deduce del párrafo citado, el énfasis de la Seguridad Vial tiene que estar en la prevención. La meridiana claridad

de la declaración contenida en el párrafo anterior, no admite duda sobre los temas en los que tiene que actuar el Estado en forma sistémica, objetivos concretos; eficiencia y eficacia, y la creación de un sistema de medición de resultados. Si quisiéramos tomar prestado del mundo de los negocios un modelo a seguir para lograr alcanzar el éxito, me inclino a pensar que el óptimo es el del “Business Process Management” ó BPM como abreviadamente se le conoce, cuyo ciclo se puede graficar en el siguiente esquema:





Las licencias de conducir salen de manera oficial no solo por la vía correcta, sino también por la ventana, el techo y debajo del suelo.

Muy bien, ya tenemos claro que es lo que hay que hacer y cómo es que se debe hacer, ahora cabe preguntarnos si el Perú está en la ruta correcta o por lo menos alineado para seguirla y lamento ser pesimista y que mi respuesta preliminar sea negativa, creo que existe un evidente desenfoco en los diferentes niveles del Estado y ponemos las pruebas en la mesa.

Empecemos por hablar de lo que se viene haciendo en materia de Personas. El Estado Peruano a partir de la Ley de profesionalización del Conductor, estableció como política pública la obligatoriedad de la concurrencia y certificación de los conductores en Escuelas de Conductores. Luego de ello, el MTC ha autorizado un importante número de empresas destinadas a tal fin, sin tener claro si existía un mercado por atender, y sin haber establecido mecanismos para regular la calidad de la instrucción impartida y de los docentes a cargo de la misma.

¿En qué ha terminado el tema? En que un importante número de estas Escuelas de Conductores han cambiado de giro, convirtiéndose en una verdadera maquinaria de certificados "delivery", es decir ya nadie concurre a capacitarse, lo cual es de pleno conocimiento de la autoridad, que no hace esfuerzos inteligentes por contro-

larlo. En suma, se ha creado un negocio con aval del Estado, que no sirve de nada. A ese sombrío panorama, le tenemos que sumar un proceso de descentralización de la emisión de licencias de conducir

La falta de visión estratégica nos lleva a vías que privilegian a los vehículos, que resultan inseguras para los peatones, los que muchas veces por falta de autoridad, la necesidad o ausencia de cultura, las emplean poniendo en riesgo su vida. La consecuencia es que terminamos parchando las vías, haciendo puentes peatonales donde no pensamos hacerlos o poniendo muros en medio para disuadir el paso. Al final las vías pierden su naturaleza.

hecha sin orden ni sentido y una absoluta dejadez respecto de lo que ocurre en la ciudad de Lima. Hoy en día las licencias de conducir salen de manera oficial no solo por la vía correcta, sino también por la ventana, el techo y debajo del suelo, por un costo determinado. ¿Qué dice la Ley? Que el MTC es el titular del Sistema Nacional de Licencias de Conducir.

Otra norma, dispone un sistema de contención para los malos conductores a través de la aplicación de un sistema de acumulación de puntos que determina sanciones. A la fecha no tenemos ningún mecanismo que obligue a las municipalidades provinciales a cumplir con la obligación de terminar los procedimientos sancionadores para sacar a los malos conductores de la calle. Y lo que es peor, existe un evidente divorcio en los objetivos derivados de las consecuencias derivadas de la infracción de tránsito, mientras para la norma la multa es un correctivo, para algunas municipalidades, la multa es un medio de generación de recursos, entonces no les interesa corregir a nadie. Para cerrar el tema de las personas, hablemos de los peatones en dos temas concretos: i) tenemos una norma que establece sanciones pecuniarias a peatones infractores del tránsito ¿se cumple? No,



→ ¿hay forma de hacerla cumplir? Tampoco; ii) en el gobierno anterior se invirtió una importante suma de dinero en capacitar a los profesores de educación básica regular para que pudiesen incorporar en sus cursos temas relacionados con la seguridad vial. Objetivo loable, que naufragó por falta de seguimiento y de establecimiento de parámetros para el monitoreo de resultados. ¿Por qué nos debería sorprender entonces que los niños de hoy y adultos del mañana no sepan respetar las normas y al ser peatones no cuiden su vida?. Veamos ahora un segundo tema relacionado con la seguridad vial y es el de los vehículos. El Perú hasta la fecha no se ha decidido a resolver el tema de la antigüedad máxima de permanencia de los vehículos en circulación, con lo cual nuestras

vías son compartidas por vehículos de toda edad, y ciertamente algunos de ellos ya no se encuentran en condiciones. Precisamente para controlar el estado técnico de los vehículos se estableció como política pública la Inspección Técnica Vehicular. En este caso también, empresas pri-

vadas brindan este servicio, autorizadas por el MTC, sin que esta entidad haya hecho un verdadero estudio de la demanda del servicio. La sobreoferta en muchas ciudades, sumada a la evidente debilidad de los filtros y controles que pone la autoridad, ha convertido esta actividad en otra fuente de cer-

Otra norma, dispone un sistema de contención para los malos conductores a través de la aplicación de un sistema de acumulación de puntos que determina sanciones. A la fecha no tenemos ningún mecanismo que obligue a las municipalidades provinciales a cumplir con la obligación de terminar los procedimientos sancionadores para sacar a los malos conductores de la calle.



Las inspecciones técnicas pasan por “agua tibia” las deficiencias. Basta salir a la calle y mirar el estado técnico de muchos vehículos en circulación.

tificados “delivery” y de inspecciones que realizan pasan por “agua tibia” las deficiencias. Basta salir a la calle y mirar el estado técnico de muchos vehículos en circulación. Ya tenemos aproximadamente cinco años de Inspecciones Técnicas y no sabemos cuáles son los resultados obtenidos por esta política pública. No es pública la información de los vehículos revisados y no se ha hecho análisis y estadística de las fallas recurrentes en los vehículos para saber que hacer sobre el particular.

Respecto también a los vehículos, aun mantenemos los “ojos cerrados” respecto de la calidad de la oferta de vehículos nuevos, esperando que el “mercado” cumpla su trabajo, lo malo es que hasta que ello ocurra, muchos accidentes podrían ocurrir por deficiencias técnicas de los vehículos.

El Estado Peruano a partir de la Ley de profesionalización del Conductor, estableció como política pública la obligatoriedad de la concurrencia y certificación de los conductores en Escuelas de Conductores.

¿Cómo podría resolverse el tema? Implementando la homologación vehicular que está durmiendo en el MTC, por ella el vendedor se responsabilizaría de que los vehículos importados que ingresan al país

cumplan con los estándares técnicos mínimos que necesitamos. Tampoco.

Finalmente sobre el mismo tema, es una verdadera pena que el Estado no aproveche la potente herramienta de fiscalización que constituye la “tercera placa” incorporada en el marco del nuevo sistema de Placa Única de Rodaje, sistema de control inteligente nos permitirían descubrir infractores empleando la tecnología, dando el salto que requerimos.

Respecto de las vías, dadas nuestras limitaciones económicas, lo correcto antes de gastar el dinero sería tener, lo que la moderna ciencia de la movilidad denomina como “Desarrollo Orientado al Transporte” o DOT, que no es otra cosa que planificación, modelos y estrategias de desarrollo para generar una movilidad sustentable.

La falta de visión estratégica nos lleva a vías que privilegian a los vehículos, que resultan inseguras para los peatones, los que muchas veces por falta de autoridad, la necesidad o ausencia de cultura, las emplean poniendo en riesgo su vida. La consecuencia es que terminamos parchando las vías, haciendo puentes peatonales donde no pensamos hacerlos o poniendo muros en medio para disuadir el paso. Al final las vías pierden su naturaleza.

Otro grave problema es la “superposición” de autoridades, los criterios de atribución de responsabilidad respecto de la gestión y fiscalización están relacionados con el competente para autorizar el servicio, más no con el que es responsable de la vía, cuando lo correcto sería que fuese una combinación de ambas cosas. Esta situación, que ocurre en todo el país, lleva a que los tres niveles de gobierno autoricen servicios sobre una vía sin ningún tipo de coordinación, y lo que es más grave sin hacerse responsable de las consecuencias.

Todos los problemas anotados tienen como denominador común: la carencia de institucionalidad, lograr una seguridad vial de 360° implica empezar por despolitizar este tema y darle rigor técnico, contar con una entidad empoderada que tenga claro lo que tiene que hacer y que produzca información dirigida a la ciudadanía en general para propiciar un cambio de conductas. No es un sueño pensar que la tendremos, pero hoy por lo menos deberíamos proponernos solucionar los problemas que hemos comentado que son muy graves. ●

(*) Gerente de Kunay Consultores SAC

Conferencia en el taller organizado por la IRF.

El primer congreso del ILIEV



Más de una centena de profesionales y técnicos asistieron al 1er. Congreso Nacional de Pavimentos Asfálticos, organizado por el Instituto Latinoamericano de Investigación y Estudios Viales (ILIEV).



Durante dos días, expertos de diversos países disertaron en torno a los aspectos técnicos y científicos del asfalto en el “1er. Congreso Nacional de Pavimentos Asfálticos 2015” que se realizó en Lima entre el 13 y el 14 de octubre.

Cinco conferencias magistrales realizaron este primer gran evento que organizó el Instituto Latinoamericano de Investigación y Estudios Viales (ILIEV) en el acogedor Sonesta Hotel El Olivar de San Isidro. Más de un centenar de personas, entre reconocidos expertos y técnicos asistieron al certamen.

El Ing. Jorge Lazarte Conroy, Presidente del ILIEV, al dar la bienvenida a los participantes, dijo que este tipo de eventos promueve las investigaciones en universidades, empresas, centros de investigación y otras entidades relacionadas con el sector tanto público como privado y de esta manera se fortalece los vínculos permitiendo el desarrollo sustentable.

Todo hace pensar que el futuro del transporte terrestre seguirá siendo responsabilidad de la red de carreteras, señaló el experto español Alberto Bardesi Orúe-Echevarría, al exponer el tema “Pavimentos de larga duración” durante la primera charla magistral del certamen.

El mismo Bardesi, quien es Director de Asfaltos Repsol-España, desarrolló luego el tema “Utilización de materiales reciclados de otras industrias en mezclas bituminosas” en otra de las cinco charlas.

Las otras tres charlas fueron: “Mezclas Tibias” a cargo del estadounidense Everett Crews Director de Investigación y Desarrollo de Mead Westvaco - Asphalt Innovations-USA; “Gestión

de Pavimentos Asfálticos” a cargo del chileno Hernán de Solminihac Tampier y “Aridos para carreteras: características, prestaciones y normativas” a cargo de la española María Elena Hidalgo Pérez, Directora Técnica de EIFFAGE Infraestructuras.

Pero eso no fue todo. El Congreso tuvo otros atractivos que dejaron ampliamente satisfechos al más del centenar de asistentes. Las últimas novedades en la materia, se vieron en las Conferencias Magistrales de especialistas de reconocido prestigio internacional, venidos especialmente para participar en el evento, así como reflejadas en las exposiciones y trabajos que se presentaron. El congreso se destacó por el nutrido intercambio de información y expe-



El presidente del ILIEV, Jorge Lazarte Conroy, haciendo uso de la palabra durante la inauguración del Congreso.



Stand de la revista Vialidad y Transporte Latinoamericano. Las principales empresas del sector participaron en la exposición paralela al Congreso.

riencias sobre nuevas tecnologías, equipamientos y especificaciones que permitirá aprovechar las experiencias y

optimizar la inversión en los procesos de pavimentación y uso de los ligantes bituminosos.

Entre las exposiciones y trabajos presentados, cabe destacar los siguientes temas:

1	Tecnología de TSB con asfalto modificado con polímero SBS como alternativa de conservación de carreteras de alto volumen de tráfico, a cargo de Jorge Escalante Zegarra.
2	Tecnología y modernidad en la concepción de los pavimentos flexibles, a cargo de Iván Chávez Roldán.
3	Repavimentación asfáltica con geomallas de fibra de vidrio, a cargo de Vladimir Aquisé y Romel King Bazán.
4	Reciclado de pavimentos, control y ejecución, a cargo de Lucía Sáez Alba.
5	Impacto de la sobrecarga en vehículos pesados sobre la estructura de un pavimento flexible, a cargo de Danny Martínez Rodríguez.
6	Experiencia de la implementación y certificación de laboratorios de control de calidad, a cargo de Jorge Santos, Pamela de la Cruz y David Canelas.
7	Tramo experimental para el control del paquete estructural de un pavimento básico usando el deflectómetro liviano de impacto, a cargo de Kevin Vásquez Jara.
8	Incidencia de la geometría del trazo de una vía de penetración en la evaluación del índice de regularidad internacional, a cargo de Oscar Rivera Valdivia.
9	Aprovechamiento de la energía perdida de pavimentos flexibles como recurso energético renovable, a cargo de Ricardo Bisso Fernández.
10	Tipología de mezclas usadas en Europa, a cargo de Carlos Hernández Carrilero (España)



🏠 Mesa de inscripción de participantes al congreso.

El ILIEV, entidad organizadora del congreso, es una asociación civil sin fines de lucro de carácter científico, técnico y académico de derecho privado cuyos fines son el desarrollo y la promoción de actividades de investigación, estudio, asesoramiento, coordinación, difusión y desarrollo de proyectos técnicos, científicos y/o educativos para la prestación de servicios de formación o capacitación directamente o a través de la constitución de entidades educativas, o de alianzas con otras entidades en materia de transporte y vialidad. Está integrado por personalidades de amplio prestigio y experiencia en el ámbito, técnico, empresarial y el mundo académico, vinculados a la Vialidad

este tipo de certámenes promueve las investigaciones en universidades, empresas, centros de investigación y otras entidades relacionadas con el sector tanto público como privado y de esta manera se fortalecerán los vínculos permitiendo el desarrollo sustentable.

y el Transporte del Perú, así como en el ámbito latinoamericano y que están imbuidos en una mística orientada a brindar sus conocimientos y experiencias para consolidar aportes y alternativas a la problemática del sector Transportes y Comunicaciones.

El Congreso tuvo como organismos de apoyo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú y a la International Road Federation; como patrocinador a IIRSA NORTE - Odebrecht Latinvest e IIRSA SUR - Odebrecht Latinvest; como auspiciadores a: **PETROPERÚ, REPSOL, Ferreyros CAT, BITUPER, CAH, TDM grupo, MTV PERÚ, PROVIAS NACIONAL, y VIALIDAD Y TRANSPORTE LATINOAMERICANO.**

Agregados para carreteras

M. ELENA HIDALGO PÉREZ (*)

El pasado mes de octubre tuvo lugar el 1er Congreso de Pavimentos Asfálticos organizado por el ILIEV (Instituto Latinoamericano de Investigación y Estudios Viales). Este artículo recoge parte de una de las conferencias magistrales expuestas en dicho Congreso, relativa a las prestaciones necesarias de los agregados pétreos para su empleo en pavimentos asfálticos.

En este artículo se presenta una síntesis de los ensayos de caracterización de los agregados así como las especificaciones exigidas en la normativa española para los agregados, de acuerdo a las normas armonizadas europeas definidas a raíz de la entrada en vigor de la Directiva de Productos de la Construcción por la que se regula el Mercado CE exigido a los productos de construcción para su libre circulación dentro de la Unión Europea.

Los agregados suponen en torno al 95% de la composición de una mezcla bituminosa. Por tanto, sus características influyen de una manera determinante en las propiedades finales de ésta. Factores físicos como la forma de las partículas pétreas, su textura superficial, dureza y resistencia al pulimento, o químicos como la adhesividad con los ligantes asfálticos influyen sobremanera en la resistencia mecánica de la mezcla bituminosa, en su resistencia a la acción del agua, resistencia al deslizamiento, etc.

Por ese motivo es importante la caracterización de los agregados como paso previo a su aceptación como materiales idóneos para su empleo en las capas asfálticas de un pavimento.

Características de los agregados

La forma de las partículas del agregado grueso afecta fundamentalmente al esqueleto mineral granular y por tanto en la futura resistencia mecánica de la mezcla. Según su forma las partículas pueden clasificarse en redondeadas, cúbicas, lajas y agujas. Las lajas y agujas se rompen fácilmente debido a las tensiones del tráfico o a las provocadas por la compactación, modificando con ello la granulometría del agregado. Por ello no es recomendable utilizar agregados con partículas de esta forma. Los agregados pétreos generalmente más deseados para la elaboración de mezclas asfálticas son aquellos con una alta proporción de partículas aproximadamente equidimensionales (cuboides). Existen restricciones en las normativas de materiales para pavimentos en donde se restringe el uso de partículas con formas no deseadas, por medio de los índices de lajas y de agujas de las distintas fracciones del agregado grueso (Figura 2). Mediante un adecuado proceso de machaqueo de los agregados es posible reducir la forma lajosa de éstos (Figura 1).

Además de la forma de las partículas, es imprescindible tener en cuenta la mayor o menor angulosidad (Figura 3), que influye en la mayor o menor resistencia del esqueleto mineral porque el aumento de la angulosidad supone un aumento del rozamiento interno. La resistencia a la deformación o capacidad de soporte de una capa de firme depende entre otros factores del rozamiento interno del esqueleto mineral. La angulosidad del agregado grueso beneficia al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se gene-

ra entre las partículas. Esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos. El empleo de agregados triturados trae consigo el aumento de la angulosidad de las partículas. Sin embargo, los agregados naturales o cantos rodados, procedentes de yacimientos naturales o graveras sometidos únicamente a una

separación en función de sus tamaños granulométricos, no disponen de angulosidad suficiente para ser empleado como agregados para pavimentos asfálticos. La mayoría de las normativas establecen un mínimo de angulosidad del agregado grueso determinado mediante el Ensayo de Caras de Fractura (EN 933-5), dependiendo de las condiciones de tráfico al que va a estar expuesto el pavimento.



Figura 1: Reducción de lajas por remachaqueo del agregado.



Figura 2: Tamices de barras para el Ensayo de índice de Lajas (EN 933-3).

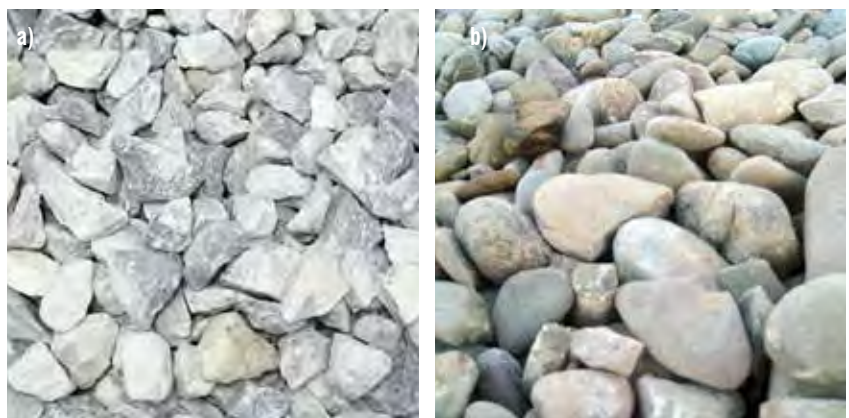


Figura 3: Agregados de machaqueo con buena angulosidad (a) y cantos rodados con mala angulosidad (b)

→ Otra característica del agregado a tener en cuenta es la textura superficial (Figuras 4 y 5), determinada por las irregularidades superficiales de las partículas. Ésta puede variar desde ser muy rugosa hasta pulida, según sean las irregularidades apreciables o prácticamente inexistentes. La textura superficial influye de manera decisiva en el rozamiento interno del esqueleto mineral. Además tiene influencia en la resistencia al deslizamiento de los neumáticos en la superficie de rodadura.

Dureza: La resistencia mecánica del esqueleto mineral es un factor predominante en la evolución del comportamiento de una capa de firme después de su puesta en servicio. La dureza es una característica que depende de la petrografía del agregado, pero que se puede evaluar indirectamente por ejemplo (Figuras 6 y 7), mediante la resistencia a la fragmentación (Ensayo de los Angeles LA EN 1097-2) o al desgaste (Ensayo MicroDeval MD EN 1097-1).

Si bien el ensayo de Los Ángeles puede indicarse como uno de los mejores indicadores de calidad del agregado, hay que destacar que se realiza en seco y eso puede dar lecturas erróneas en agregados que sean susceptibles de perder durabilidad en presencia de agua, cosa que se puede solucionar con un ensayo Micro-Deval húmedo. A diferencia de la prueba de abrasión de Los Ángeles, el ensayo Micro-Deval se realiza en presencia de agua. Esto es interesante, pues es sabido que los procesos de alteración mineral suelen producirse por reacciones acuosas y por tanto es de esperar un comportamiento más cercano a la realidad cuando se mojan, que cuando están secos. Por tanto, un mismo agregado, puede presentar buenos coeficientes LA y en cambio tener unos coeficientes deficientes según MD. El límite máximo permitido en la mayoría de estudios se sitúa en torno al 15 % de pérdida.

La **resistencia al pulimento** de las partículas del agregado es la resistencia a perder aspereza en su textura superficial. Tiene gran importancia desde el punto de vista de la resistencia al deslizamiento cuando dichas partículas van a ser empleadas en una capa de rodadura. Para su evaluación se han desarrollado los ensayos de pulimento acelerado (Figura 8). Primero se determina el grado de rozamiento del agregado mediante el mismo péndulo de fricción con el que se mide la resistencia al deslizamiento de los pavimentos. Después, los agregados embebidos en una probeta de mortero hidráulico (Figura 9), son sometidos a ciclos de pulido por me-

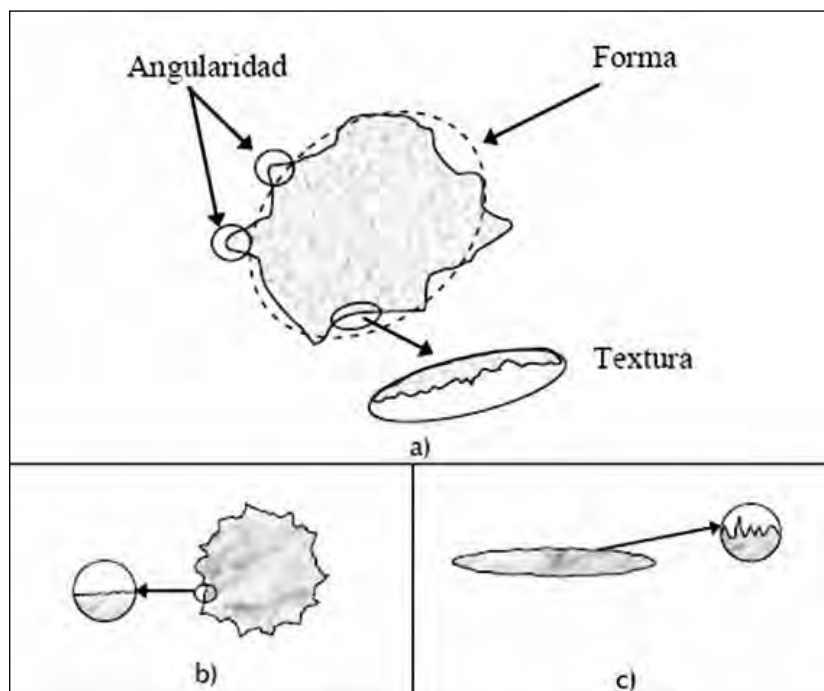


Figura 4: Esquemización de a): características geométricas de los agregados; b) agregados con alta angulosidad y textura no rugosa; c) agregados lajosos con baja angulosidad y textura rugosa. Fuente: Ing. Investig.vol.28 no.2

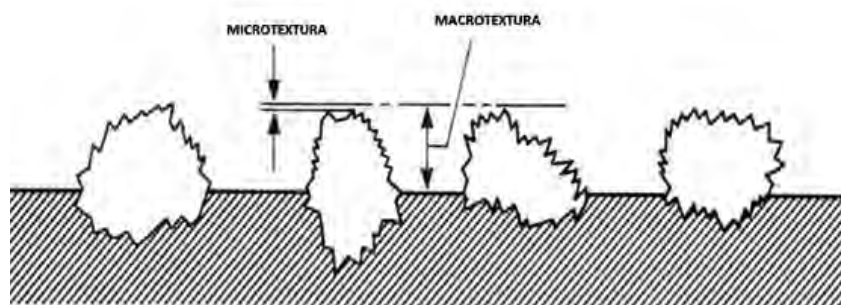


Figura 5: Esquemización de la Microtextura y Macrotextura de un agregado. Fuente: AESA.

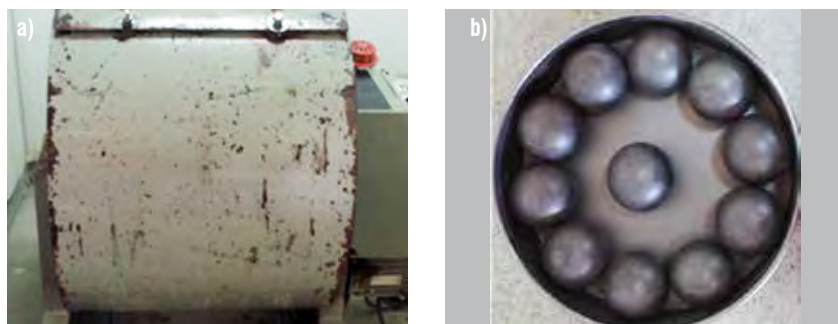


Figura 6: a) Máquina LA b) Carga abrasiva empleada en el Ensayo de LA.

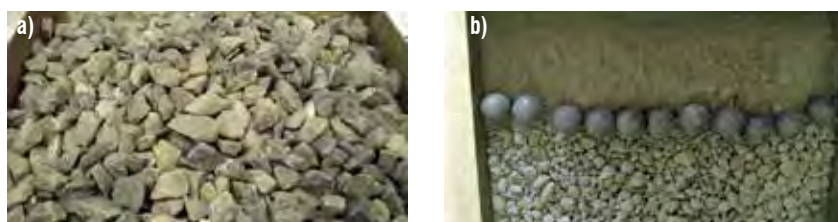


Figura 7: Resultado del Ensayo de los Angeles. a) Antes del ensayo b) Después del ensayo.

dio de abrasivos. La medida del coeficiente de rozamiento al comienzo, a la hora y al final del ensayo (6 horas), permite caracterizar el agregado mediante el coeficiente de pulido acelerado.

Los agregados calizos presentan una relativa facilidad de pulimentarse en condiciones de servicio, por lo que no se recomienda su uso para capas de rodadura. Los agregados ígneos o metamórficos (basaltos, gabros, pórfidos, granitos, cuarcitas,...) presentan en general una mayor resistencia al pulimento, por lo que resultan idóneos para garantizar la textura superficial necesaria en un periodo de tiempo, incluso con tráficos muy intensos.

La **adhesividad** de la superficie de los agregados a los ligantes bituminosos (Figura 10) es un fenómeno complejo en el que intervienen diversos factores físicos como la textura del agregado, porosidad, viscosidad, tensión superficial del ligante, o el espesor de la película de ligante, pero también factores químicos del agregado. Si los agregados están absolutamente secos, se dejan mojar fácilmente por los ligantes bituminosos pero si están con algo de humedad sus superficies presentan cierta polaridad. Esta polaridad tendrá un signo u otro dependiendo de la naturaleza de los agregados, según sean ácidos o básicos. La acidez es por lo general consecuencia de un alto contenido en sílice y determina una gran afinidad del agregado por el agua (hidrofilia) y una polaridad negativa. La adhesividad entre los agregados silíceos (o ácidos en general) y los ligantes asfálticos no es buena, pudiendo llegar a ser necesaria la disminución de la tensión superficial del ligante mediante procesos de activación en los que se carga electroquímicamente para crear una adhesividad.

Los agregados básicos como la caliza (Figura 11) son menos hidrofílicos que los silíceos y se cargan positivamente en presencia de agua. Por ello pueden presentar cierta atracción por los ácidos libres en los ligantes y, en consecuencia una mejor adhesividad con los mismos. En los pavimentos asfálticos aparte de cuidar y verificar que el ligante asfáltico moje al agregado, se debe tener en cuenta la posibilidad de que el agua en combinación con la acción de los vehículos y en ocasiones con el polvo y suciedad existentes, perturbe la adhesividad, desplazando el ligante asfáltico de la superficie del agregado, que quedará de nuevo descubierta o lavada (sensibilidad al agua). La adhesividad pasiva o también llamada resistencia al desplazamiento del ligante de-

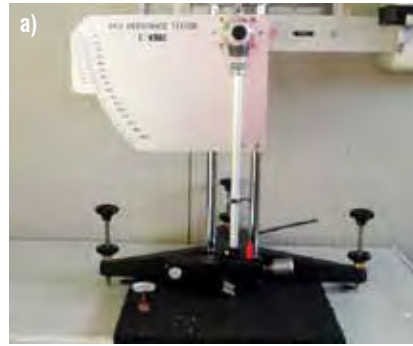


Figura 9

Figura 8: Máquinas empleadas para el ensayo de CPA (EN 1097-8). a) Péndulo de fricción; b) Máquina de pulimento. Figura 9: Pastilla para ensayo de CPA.



Figura 10: Envoltura de agregado con ligante asfáltico: mala (a) y buena (b) adhesividad. Fuente: TDM Perú

pendará también de los mismos factores químicos y físicos anteriormente citados: afinidad polar por el ligante, espesor de la película y viscosidad del mismo, tensión superficial (ángulo de contacto) y textura

superficial. Una manera de evaluar la adhesividad agregado-ligante es mediante la caracterización de la acción del agua (ensayo de inmersión-compresión o de sensibilidad al agua).



Figura 11: Agregados finos de diferente naturaleza. a) caliza (buena adhesividad) b) silícea c) pórfida



Figura 12: Ensayo de Equivalente de Arena.

Alterabilidad

Los fallos detectados en un firme al poco tiempo después de su puesta en servicio, comúnmente suelen ser ocasionados por procesos de alteración de los agregados en alguna de sus capas, los cuales pueden desencadenarse debido a alguna reacción química con alguno de los componentes de los ligantes asfálticos o conglomerantes, por la acción de la helada o, simplemente, por la siempre inevitable presencia de agua. Existe la necesidad de evaluación de la alterabilidad de un agregado pétreo por el procedimiento que sea, y se pueden señalar a título indicativo, los siguientes caminos:

- análisis petrográficos, acción de soluciones salinas o de agua oxigenada.
- ciclos hielo-deshielo, inmersión en agua y ciclos de humedad-sequedad.

En el ensayo de sulfato de magnesio (EN 1367-2) el agregado se somete a ciclos de inmersión en una solución saturada de sulfato de magnesio, seguida de secado. Con este procedimiento, la muestra de laboratorio se somete a esfuerzos tensionales repetidos de cristalizaciones y rehidrataciones del sulfato de magnesio en los huecos del agregado. La disgregación producida por dichos esfuerzos da

un índice de la resistencia del agregado a la intemperie.

El método de hielo-deshielo (EN 1367-1) es un buen indicador de la fragilidad de un agregado, pues un agregado que pierde fracción granulométrica gruesa después del ensayo indica que es susceptible a desgastarse prematuramente en climas húmedos y fríos. Este ensayo es ideal para un agregado que se vaya a poner en obra en climas fríos y húmedos, pudiendo prever y anticipar qué respuesta tendrá a los cambios bruscos de temperatura y humedad.

Plasticidad: los finos deben tener reducida su plasticidad e incluso que no sean plásticos en la mayoría de los casos. En ocasiones aunque el agregado fino no sea plástico, puede estar contaminado por partículas no arcillosas, que no se hayan podido detectar mediante los límites de Atterberg, pero igualmente nocivas. Así se garantiza que en presencia de agua la capa en cuestión conserve sus características resistentes y que, sobre todo, no haya problemas de adhesividad con los ligantes hidrocarbonatos. Un ensayo muy utilizado para caracterizar desde este punto de vista el agregado fino es el denominado Equivalente de Arena (EN 933-8: Figura 12). También, y como ensa-

yo complementario al de EA, se emplea el ensayo de Azul de Metileno (EN 933-9). Las arcillas, los materiales orgánicos y los hidróxidos de hierro presentan una alta capacidad de adsorción del azul de metileno, debido a su actividad superficial y físico-química. Esa capacidad de adsorción de azul de metileno produce un efecto decolorante sobre las soluciones acuosas de este elemento. Por lo que se puede valorar la naturaleza y proporción de este tipo de partículas en un agregado fino mediante la cantidad de azul de metileno necesaria para que una solución acuosa de este elemento no se decolore al ser mezclada con una muestra de árido.

Especificaciones españolas

Una vez presentadas las características esenciales de los agregados para su empleo en firmes bituminosos y los ensayos empleados para evaluarlas, procederemos a señalar, a modo de ejemplo, las prescripciones que la normativa española exige para declarar los agregados como aptos para su uso en las diferentes capas de los pavimentos asfálticos y en función del tráfico previsto (Art. 542 y 543 del PG-3: Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes).

Forma de las partículas: Índice de Lajas (EN 933-3)

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO (*)			
	T00	T0 A T31	T32 y Arcenes	T4
Hormigón bituminoso (AC)	≤ 20	≤ 25	≤ 30	
Discontinua (BBTM)	≤ 20		≤ 20	
Drenante (PA)	≤ 20		≤ 25	

(*) Las categorías de tráfico pesado vienen definidas en la norma 6.1 IC "Secciones de Firme:

Categoría	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T4
IMDp (vehículos pesados/día)	≥ 4000	<4000	<2000	<800	<200	<100	<50
		≥ 2000	≥ 800	≥ 200	≥ 100	≥ 50	

Angulosidad: Caras de fractura (EN 933-5). Proporción de partículas total y parcialmente trituradas (% en masa)

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	T0 y T1	T2	T3 y Arcenes	T4
Rodadura	100			≥ 90	≥ 70
Intermedia	100			≥ 90	≥ 70
Base	100		≥ 90	≥ 70	

Dureza: Coeficiente de los Ángeles (EN 1097-2)

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 Y T0	T1	T2	T3 y Arcenes	T4
Rodadura AC	≤ 20			≤ 25	
Rodadura BBTM A	≤ 15	≤ 20		≤ 25	
Rodadura BBTM B	≤ 15			≤ 25	
Rodadura PA	≤ 15	≤ 20		≤ 25	
Intermedia	≤ 25				
Base	≤ 25		≤ 30		

Como puede observarse, los requerimientos son más exigentes para los agregados cuando van a emplearse en microaglomerados discontinuos (BBTM) o en mezclas porosas, dadas las mayores prestaciones exigidas a estas capas.

En cuanto al ensayo Micro Deval, no hay especificaciones españolas. A partir de 18 se considera un árido de mala calidad. El límite máximo permitido en la mayoría de estudios se sitúa en torno al 15 % de pérdida.

Resistencia al pulimento: CPA (EN 1097-8) (Sólo para capa de rodadura)

T00 Y T0	T1 a T31	T32, T4 y Arcenes
≥ 56	≥ 50	≥ 44

Propiedades térmicas y de alteración de los agregados:

En la normativa española sólo se indica que si la absorción de agua es < 0,5 %, el agregado se considera como resistente a los ciclos hielo y deshielo. Si no se dispone del ensayo de absorción no se detalla qué valores serían óptimos para un árido que vaya a ser empleado en carretera. Tampoco se acota en función de la climatología o agresión medioambiental que pueda sufrir dicho agregado. Tan sólo en capas de rodadura de carreteras sometidas durante el invierno a heladas y frecuentes tratamientos de vialidad invernal, se especifica que si el valor de la absorción (norma EN 1097-6) es superior al uno por ciento (> 1%), el valor del ensayo de sulfato de magnesio (norma EN 1367-2) deberá ser inferior al quince por ciento (MS < 15%).

Plasticidad del agregado fino: Equivalente de arena (EN 933-8) y Azul de metileno (933-9). El valor del EA determinado sobre la fracción 0/4 mm debe ser superior a 55. En el

caso de que el EA sea inferior a 55 pero superior a 45, el valor de AM deberá ser superior a 7g/kg.

CONCLUSIONES

Como se ha indicado al comienzo de este artículo, los agregados suponen que están en torno al 95% de la composición de una mezcla bituminosa. Por tanto, sus características influyen de una manera determinante en las propiedades finales de ésta y es imprescindible para un buen diseño de los pavimentos asfálticos la caracterización previa de los agregados, como con el fin de comprobar su idoneidad como materiales para las capas asfálticas de un pavimento. •

(*) Doctora, España.
mehidalgo@infraestructuras.eiffage.es

Conferencia en el 1er. Congreso Nacional de Pavimentos Asfálticos del ILIEV.

Aprovechamiento de la energía perdida de pavimentos flexibles

RICARDO BISSO FERNÁNDEZ (*)

Desde hace mucho años, en Europa y otros países del Oriente, vienen desarrollándose nuevas tecnología de pavimentos orientadas al concepto de futuro llamado “Pavimentos Sostenibles” y uno de ellos es el concepto Termonidámico del “Trabajo Perdido” (Loss Work) que recupera la energía potencial del paso de vehículos a energía eléctrica u otras, a través de piezoeléctricos, hartamente usados en el medio electrónico.

El paso de los vehículos sobre el pavimento pueden ser convertido en energía eléctrica para producir electricidad y alumbrado de las autopistas.

(*) Email: rbissof@yahoo.com; ricardo.bissof@ciplima.org.pe

La tendencia mundial en la construcción de Pavimentos Flexibles de Carreteras y Vías Urbanas, contempla cada vez más la imperiosa responsabilidad de obtener y aplicar innovación tecnológica orientada al criterio de "Desarrollo Sustentable".



La sustentabilidad vial es el desarrollo de la capacidad para construir pavimentos de modo que trabaje con las leyes naturales, satisfaga las necesidades humanas y maneje los recursos sabiamente.

Los escenarios de sustentabilidad están frecuentemente interrelacionados, los beneficios y costos se reflejan como parte de la gran infraestructura de transporte y la sostenibilidad considera todos los costos absorbidos por la sociedad.

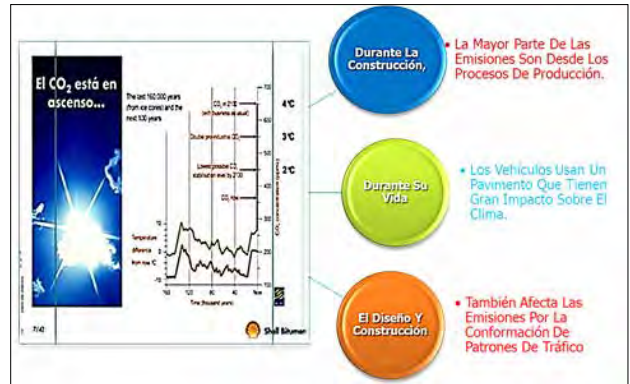


Beneficios de la sustentabilidad

- Los propietarios de Pavimentos están incrementando su conciencia de sustentabilidad.
- El público se beneficia de los pavimentos sustentables.
- Reúne regulaciones y requerimientos legales.
- Reducen y mejoran los costos cuando son considerados a largo tiempo.
- Enlaza la imagen pública y la reputación.

Efecto sobre el clima

- Cubre el calentamiento global y fenómenos relacionados.
- Preocupación primordial en las emisiones de gases invernadero.



Qué tecnología sustentables disponibles existen?

Las nuevas tecnologías que se vienen desarrollando en diferentes grados de popularidad y aplicación tanto en Europa como en Norteamérica son:

- Aditivos de mezclas tibias
- Aditivos neutralizadores de óxidos de nitrógeno
- Reciclaje de materiales industriales y otros
- Recupero de energía mecánica de pavimentos y aplicación de paneles solares:



La exergía

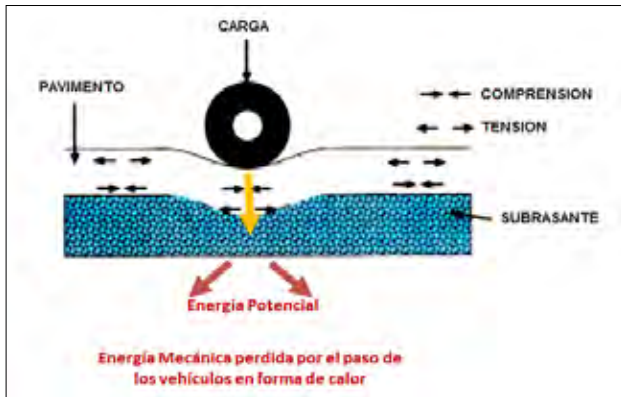
La nueva visión de la ingeniería de pavimentos considera el desarrollo vial con criterios sustentables como la exergía que es una parte de la ciencia termodinámica que Califica la energía y determina si existe "Trabajo Perdido» o «Energía Disponible de Recuperación».

Las diferencias de tipos de Energía, radican en la posibilidad de producir trabajo o transformar un tipo de energía en otro.

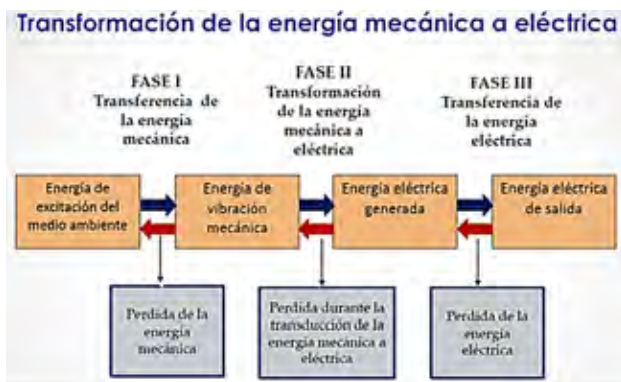
La capacidad de un medio energético para realizar trabajo expresa su potencial para transformarse en otros tipos de energía y, por tanto, la exergía puede aplicarse al estudio de procesos tecnológicos.

Que es la piezoelectricidad?

La piezoelectricidad (del griego piezein, "estrujar o apretar") es el fenómeno presentado por determinados cristales que al ser sometidos a tensiones mecánicas adquieren una polarización eléctrica en su masa, apareciendo una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie.



El paso de vehículos en las autopistas, generan una carga de tráfico hacia el pavimento que se pierde como energía calórica en el subsuelo. Mediante el uso de piezoeléctricos se puede captar la energía mecánica que los vehículos confieren al pavimento y transformarlo en energía eléctrica y proveerlo a un medio de pro-
vecho, mediante el uso de generadores y baterías.



Pasos para la implementación:

- 1) Cortado de Pavimento
- 2) Colocación de generadores
- 3) Cableado
- 4) Cobertura y Asfaltado de la vía.

Impacto económico

La experiencia realizada en Israel Ltd & Israel National Roads Company, que desarrolló un prototipo comercial, arroja los siguientes resultados o conclusiones:

Es decir, montos de inversión del orden de 650,000 US\$ por Km, en el uso de dichos piezoeléctricos que se espera funcionen con el paso de 600 vehículos pesados por hora para generar 200 Kw/h, como para alumbrar 300 hogares aledaños a las autopistas o la iluminación de la autopista misma. La vida media de uso de dichos materiales son de 30 años. Esto significa una generación anual de: 21.6 millones Kw-hr.

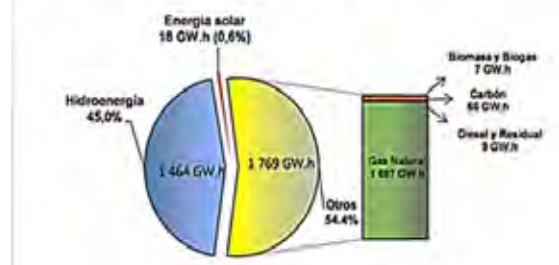
DATOS ENTREGADOS	
Referencia: Ing. Andrés Ignacio Silva Corrial Universidad Diego Portales – Chile Julio 2012	
Costo experimental	650,000 US\$
Costo dispositivo implementado	218,000 US\$
Implementación	1 kilómetro de carretera
Mantención	30 años
[kw/h] esperado	200 [kw/h]
Utilización	300 hogares
Medio	Presión de vehículos
Vehículos aproximados	600 vehículos

La tendencia mundial en la construcción de Pavimentos Flexibles de Carreteras y Vías Urbanas, contempla cada vez más la imperiosa responsabilidad de obtener y aplicar innovación tecnológica orientada al criterio de “Desarrollo Sustentable”.

Si asumimos que dicha energía es comprada a una empresa generadora cuya tensión es BT5, el costo de energía activa de consumo típico sería de 136 Kw con un pago mensual promedio de 78 soles, que proyectado a 30 años significa: 8.36 millones de soles (3.1 millones US\$).

Por otro lado, la producción de energía eléctrica por tipo de tecnología, nos señala que la generada por las termoelectricas es de 0.28 galones de combustible PInd y Diesel por Kw.hr como se observa en el gráfico, esto significa, que el consumo de combustible diesel de la generadora para suministrar 9 millones Kw/h sería de 2.56 millones galones (61 mil barriles), lo que corresponderá a un consumo mensual del orden de: 200 mil galones (4,800 barriles).

	Galones	GW.Jhr	Mw.hr	Kw.Jhr	Gal/kw-hr	kwh-gal
P.Ind. 500	422,264					
P.Ind. 6	1,316,041					
Diesel	817,982					
Total	2,556,267	9	9,000	9,000,000	0.28	11.69



Si se tiene en cuenta que el factor de emisión de CO2 para el PInd. es 3.05 Kr CO2/Kgr Fuel, es decir que para el ahorro de 616,109 galones de PInd. 6 de Sp-Grav: 0.9, equivale decir que se dejaría de emitir 6,599 Ton CO2 al año.

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN ¹⁴
Gas natural (m ³)	2,15 kg CO ₂ /m ³ de gas natural
Gas butano (kg)	2,96 kg CO ₂ /kg de gas butano
Gas butano (número de bombonas)	37,06 kg CO ₂ /bombona (considerando 1 bombona de 12,5 kg)
Gas propano (kg)	2,94 kg CO ₂ /kg de gas propano
Gas propano (número de bombonas)	102,84 kg CO ₂ /bombona (considerando 1 bombona de 35 kg)
Gasoil (litros)	2,79 kg CO ₂ /l de gasoil ¹⁴
Fuel (kg)	3,05 kg CO ₂ /kg de fuel
GLP genérico (kg)	2,96 kg CO ₂ /kg de GLP genérico
Carbón nacional (kg)	2,30 kg CO ₂ /kg de carbón nacional
Carbón de importación (kg)	2,53 kg CO ₂ /kg de carbón de importación
Coque de petróleo (kg)	3,19 kg CO ₂ /kg de coque de petróleo

Generalidad de Catalunya Comisión Interdepartamental del Cambio Climático 2012. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del anexo 3 del Informe Inventario GEI 1990-2005 (2010)

Nota: cuando se menciona gases de efecto invernadero (GEI) nos referimos a CO2 equivalente (CO2 eq), que incluye los seis gases de efecto invernadero recogidos en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO2), metano (CH4), óxido de nitrógeno (N2O), hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF6).//

Evaluación de factibilidad económica del proyecto

Tasa cambiaria	3.22	Soles/US\$
Longitud de autopista	1	Km
Paso de vehículos por hora	600	
Energía generada esperada	200	Kwh
N° hogares beneficiados (f:090)	300	
Consumo promedio por hogar	136	Kwh / mes
Costo de energía activa BT5/mes	78	Soles/hogar
Costo Unitario EA	0.57	Sol/Kwh
Consumo anual	489,600	Kwh
	280,800	Soles
Consumo anual	87,205	US\$
Consumo de fuel para Gen Elec.	0.28	Galones / Kwh
Consumo anual de fuel	137,088	galones
Consumo anual de fuel	3,264	Barriles
Costo 1 galón fuel (S/IGV) - 09-09-2015	4.19	Soles
	1.30	US\$
Ahorro consumo fuel	178	MUS\$
Reducción impacto invernadero	3.05	Kgr CO2/Kgr Fuel
Sp-Grav. Fuel	0.9	Kgr/lit
	3.14	Kgr/gal
Ahorro emisión CO2 Anual	430,223	Kgr
	430	Ton
TASA INTERNA DE RETORNO (%)	(TIR)	25.4%
RETORNO DE LA INVERSION (Años)	PAY-OUT	1.7
RECUPERO DE LA INVERSION (Años)		4.9

Conclusiones / Recomendaciones:

1. Es perfectamente viable técnicamente y económicamente, implementar un perfil de proyecto en el Perú, con participación de la empresa privada.
2. La manera de hacerlo es “manejo de proyecto por incentivos tributarios”, que los Gobiernos Regionales (Estado) puede hacerlo en coordinación con la empresa privada.

Perfil de Proyecto aplicado a una autopista

Se aplicará sobre una autopista de pavimento flexible que posea un flujo permanente vehicular adecuado:



Se realiza el corte del pavimento a poca altura de profundidad para colocar los piezoeléctricos:



Se coloca en fila a lo largo de la pista o carril, sobre una camada de concreto de fraguado rápido; que luego son cableados hacia los generadores y baterías de acumulación de energía eléctrica:



Luego se cubre los piezoeléctricos con mantas de asfalto especiales y sobre ellas, se realiza la colocación de la mezcla asfáltica para construir el pavimento:



Se abre el paso del tránsito y las cargas de los vehículos al pavimento, son convertidas en energía eléctrica para producir electricidad y alumbrado de las autopistas o implementar cualquier otro tipo de servomecanismo que funcione con electricidad: fotos, medidores de carga, etc.

Esto permitirá implementar facilidades de señaléticas iluminadas relacionadas a la seguridad vial y al control: avisos velocidades máximas, avisos de pesos permitidos, avisos de desviaciones viales, etc.



Bibliografía:

- Innowattech Ltd & israel national Roads Company.
- Carolina Salgado Castro y Asesor: Alejandra Lugo Rangel Universidad Autónoma de Ciudad Juárez– Instituto de Ing.y Tecnología.
- Guía práctica para cálculo de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) – versión marzo 2012 – oficina catalán e Canvi Climático.
- Osinermind-Generación Eléctrica
- Referencia: Energy Harvesting Systems. www.Innowattech.com

Trabajo presentado en el 1er. Congreso Nacional de Pavimentos Asfálticos del ILIEV.



Hermosa vista panorámica. Asistentes al XVIII Congreso IberoLatinoamericano del Asfalto (CILA) en Bariloche, Argentina.

La importancia del CILA

Desde hace más de tres décadas, cada dos años, técnicos de 21 países se reúnen para debatir y compartir los avances tecnológicos y experiencias del ámbito vial. Se trata de reuniones altamente técnicas en el campo del asfalto.

El Secretario permanente del Congreso IberoLatinoamericano del Asfalto (CILA), Felipe Nougüe, destaca la importancia de este certamen bianual que promueve la realización de estudios e investigaciones entre instituciones, centros de investigación, empresas, universidades y otras entidades vinculadas a la tecnología de los materiales bituminosos, entre otros objetivos vitales para el Sector. Aquí la entrevista concedida a la revista Vialidad y Transporte Latinoamericano.

¿Qué es el Congreso Ibero Latinoamericano del asfalto?

El CILA (Congreso IberoLatinoamericano del Asfalto) fue una creación, hacia fines de la década de los 70, del Dr. Jorge Agnusdei (Argentina) y del Ing. Helio Farah (Brasil), dada la necesidad de tener un ámbito para el intercambio de información y conocimiento entre los tecnólogos del asfalto en América Latina.

El primer Congreso se celebró en 1981 en Río de Janeiro, Brasil. En su segunda edición, realizada en 1983 en la ciudad de Mar del Plata, Argentina, se acepta que, a partir de 1985, se incorporen España y Portugal alcanzando su denominación actual. Posteriormente los Estados Unidos de América, con una importante presencia de técnicos latinos en ámbitos universitarios, se incorpora al CILA como país adherido.

En el año 2011, y en conmemoración del 30 aniversario de los CILAs, nuevamente Río de Janeiro fue la ciudad anfitriona del Congreso en su XVI edición.

Desde su creación el Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto tuvo al Dr. Jorge Agnusdei y al Ing. Jorge Farah como Secretarios Permanentes del CILA,

Así es como cada dos años, en el mes de noviembre, entre 600 y 900 técnicos de 21 países nos encontramos para debatir y compartir avances tecnológicos y experiencias del ámbito vial y, adicionalmente,

afianzar el vínculo entre nosotros, que nos ha permitido crear una importante red de información en la lengua hispana y portuguesa.

En agosto de 2012 se produjo la desaparición física del Dr. Jorge Agnusdei y en mayo del año 2014 el fallecimiento del Ing. Helio Farah. Por decisión de los delegados en los distintos países, a partir del XVII CILA, celebrado en Guatemala en 2013, las Secretarías han pasado a ser desempeñadas por los Ing. Felipe Nougés (Argentina) y Celso Ramos (Brasil).

¿Cuáles son los objetivos del Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto?

Son objetivos de los Congresos Ibero-Latinoamericanos del Asfalto los siguientes:

- Interesarse por los problemas de carácter técnico y científico referidos a los materiales asfálticos, especialmente en lo que respecta a las obras de pavimentación.
- Promover la realización de estudios e investigaciones entre instituciones, centros de investigación, empresas,

universidades y otras entidades vinculadas a la tecnología de los materiales bituminosos, con el fin de lograr el establecimiento y desarrollo de dicha tecnología en los países Latinoamericanos e Ibéricos.

- Intercambiar información sobre experiencias a nivel regional y nacional, acerca de nuevas técnicas de trabajo, tipo de materiales, equipos, especificaciones, etc., con el objeto de no repetir errores, aprovechando la experiencia y evitando la duplicación de esfuerzos.
- Publicar y divulgar los trabajos técnicos y científicos presentados en los Congresos y las discusiones que los mismos originen en sus exposiciones.
- Promover el desarrollo de las relaciones personales a fin de fortalecer los vínculos de amistad entre los técnicos de Iberia y Latinoamérica como así también con la de otros países del mundo.
- Promover la participación activa de todos los países miembros.

¿Cuáles son los ítems que deben integrar el temario de los CILAs?

El temario de los CILAs deberá estar integrado, por lo menos, por los ítems que a continuación se detallan sin perjuicio de que el país organizador pueda agregar otros temas vinculados a la materia de que se trata.

1. Materiales asfálticos

- Especificaciones y normas técnicas
- Producción
- Recepción y manejo del asfalto
- Correctivos de adherencia
- Control tecnológico
- Asfaltos modificados
- Emulsiones asfálticas
- Investigación

2. Agregados

- Exploración, producción y normas técnicas

El CILA (Congreso IberoLatinoamericano del Asfalto) fue una creación, hacia fines de la década de los 70, del Dr. Jorge Agnusdei (Argentina) y del Ing. Helio Farah (Brasil), dada la necesidad de tener un ámbito para el intercambio de información y conocimiento entre los tecnólogos del asfalto en América Latina.

→ Secretario permanente del Congreso IberoLatinoamericano del Asfalto (CILA), Felipe Nougüe.



3. Proyecto estructural de pavimentos

- Estudios e investigaciones
- Estabilizaciones
- Dosificación de mezclas
- Métodos de proyectos de pavimento
- Proyectos de rehabilitación
- Pistas experimentales
- Nuevas técnicas

4. Construcción de pavimentos flexibles

- Especificaciones y normas técnicas
- Métodos de construcción
- Equipos
- Control tecnológico
- Estudios económicos

5. Conservación de pavimentos flexibles

- Especificaciones y normas técnicas
- Métodos de conservación
- Equipos
- Control tecnológico
- Estudios económicos

6. Técnicas de pavimentación teniendo en cuenta la economía de energía y el impacto ambiental.

7. Gerenciamiento de pavimentos.

8. Misceláneos sobre materiales o aplicaciones bituminosas.

9. Formación de recursos humanos.

¿Cuál es el esquema de funcionamiento de los CILAs?

El desarrollo de los Congresos se registrará por las siguientes normas básicas, las cuales deberán ser respetadas por los Comités Organizadores de los países sedes sin modificación, salvo instrucciones por escrito de la Secretaría Permanente.

- a) Los asistentes a los CILAs se desagregarán en las siguientes categorías:
- Autores de Trabajos
 - Participantes
 - Estudiantes
 - Acompañantes
 - Comité Organizador
 - Delegados Titulares en los países miembros
 - Secretarios Permanente, Permanente Adjunto, Permanente Alterno y Permanente Adjunto Alterno.

Todos estos avances van en pos de una meta mayor, la sustentabilidad y durabilidad de un producto sin el cual nos costaría mucho imaginar el mundo que nos toca vivir y que dejaremos a las generaciones futuras.

b) Cualquier persona con interés de participar en el CILA podrá presentar trabajos técnicos, los cuales deberán estar precedidos por un Resumen, para su tratamiento en el desarrollo de las diferentes sesiones, con la única condición de que cumpla con la Reglamentación de Presentación y Exposiciones de Trabajos que formulará el Comité Organizador.

c) El desarrollo del CILA se ajustará a las siguientes reglas generales, las que podrán ser modificadas previa aceptación por la Secretaría Permanente.

- c1) El CILA se dividirá en diferentes clases de sesiones que deberán responder al siguiente esquema:
- Sesiones Técnicas.
 - Sesiones Especiales.
 - Sesiones Horizontales.

c2) Durante la semana del CILA deberán preverse como mínimo cuatro (4) días para las Sesiones Técnicas, Especiales y Horizontales. En tal caso en el quinto día podrán organizarse una o más visitas técnicas o bien un día de camaradería a criterio del Comité Organizador. Todas las sesiones estarán divididas en módulos que, como mínimo, serán de cuatro (4) por día, dos (2) por la mañana y dos (2) por la tarde.

c3) La cantidad de trabajos aceptados es libre. Si la cantidad de trabajos aceptados fueran más de sesenta (60), podrá haber Sesiones Técnicas simultáneas y/o designarse un relator, no habiendo, presentaciones personales. En este caso se responderían las preguntas al término de la presentación del relator. Las presentaciones de los trabajos y las preguntas se registrarán por las Normas para Presentación de Trabajos y



Sesión del XVIII Congreso del CILA. La asistencia fue multitudinaria. Más de 600 participantes de 26 países.

Exposiciones establecidas y por el Reglamento de la Mesa Moderadora anexo a este Reglamento.

- c4) Las Sesiones Especiales estarán reservadas para las Conferencias Especiales de expositores de carácter internacional. En el caso que las conferencias especiales no fueran en los idiomas oficiales el Comité Organizador deberá prever la traducción simultánea al español y portugués.
- c5) El Comité Organizador, a su criterio, podrá prever la realización de Sesiones Horizontales, para lo cual deberá tener previsto salones especiales donde pondrán efectuarse mini cursos, presentaciones empresariales, etc. Sólo en este ámbito se permitirán las exposiciones de carácter comercial.
- d) El Comité Organizador será responsable de proveer toda la infraestructura necesaria para que el desarrollo del Congreso pueda efectuarse de manera cómoda y funcional.
- e) Los organizadores deberán proveer un ámbito adecuado para la realización de la Reunión de Delegados.
- f) El Comité Organizador será responsable de la publicidad del evento a efectos de lograr la mayor divulgación posible con el fin de maximizar la correspondiente convocatoria. Para esos fines deberá planificar una campaña de publicidad en el orden nacional e internacional.

g) Durante la realización del Congreso el Comité Organizador entregará lo siguiente:

- Certificado de asistencia con las categorías de autor de trabajo y participante.
- Lista de asistentes.
- Trabajos Presentados; el Comité Organizador podrá optar por entregar este material ya sea impreso en papel o bien en soporte digital.

¿Cómo imagina la evolución del CILA a futuro?

Como proyección hacia adelante debemos trabajar mucho en definir y alcanzar metas que permitan clarificar la relevancia del uso del asfalto y de sus importantes ventajas medioambientales.

Por ejemplo, es poco sabidos el bajo impacto, en términos relativos, que provoca la fabricación y colocación de pavimentos asfálticos en comparación con otros tipos de firmes. También avanzar en el uso de productos de origen vegetal, el uso de caucho reciclado, el incremento de la tasa de reciclado teniendo como meta posible el 100 % de reutilización y la aplicación a la industria de las tecnologías más de avanzada como son la utilización de los nanomateriales.

Todos estos avances van en pos de una meta mayor, la sustentabilidad y durabilidad de un producto sin el cual nos costaría mucho imaginar el mundo que nos toca vivir y que dejaremos a las generaciones futuras. ●

El XVIII CILA de Bariloche

Hubo 634 participantes de 26 países.

- 14 Sesiones Orales con 82 trabajos. 79 presentados.
- 6 Sesiones de e-Posters con 4 ó 5 pantallas simultáneas 106 trabajos. Se cargaron 90.
- Sistema novedoso con destacable participación e interacción.
- 6 Sesiones especiales
- Más de 38 horas de actividades técnicas en 3 días.

Temáticas novedosas

- Mezclas elaboradas y colocadas a menores temperaturas.
- Sustentabilidad (huella de carbono y ciclo de vida).
- Nanotecnología.
- Avances en métodos y equipos de caracterización de ligantes y mezclas.
- Fisuración/Ahuellamiento o Ahuellamiento/Fisuración.
- Sistemas de Gestión para mejorar la calidad.



Comportamiento de ligantes asfálticos y mezclas asfálticas

Los objetivos de este trabajo son evaluar el comportamiento de los asfaltos peruanos convencional PEN 60/70 y modificados por polímero SBS Betutec 60T y PG 76 -22 en mezclas asfálticas densas, sin y con envejecimiento a corto plazo. Establecer la distribución del Grado de Desempeño (PG) de ligantes asfálticos con base en las condiciones climáticas de cada región del Perú y realizar la propuesta del tipo de asfalto que debe utilizarse en las diferentes regiones del Perú de acuerdo al grado de desempeño requerido.

 JORGE RODOLFO ESCALANTE ZEGARRA (*)

Entre los defectos que afectan el desempeño de un pavimento, dos requieren especial atención en virtud de una mayor ocurrencia y, principalmente, por representar el compromiso estructural: la acumulación de la deformación permanente en los canales de tráfico, que generalmente ocurre en los primeros años de vida del pavimento, por estar más sujeto al adensamiento, a las deformaciones plásticas por cizallamiento, y el surgimiento y propagación de las fisuras por fatiga del revestimiento asfáltico (Roberts et al., 1991).

Uno de los aspectos fundamentales para el comportamiento adecuado de los pavimentos frente a las situaciones climatológicas y de tránsito, es el grado de desempeño de los ligantes asfálticos utilizados, por lo que el Programa SHRP (Strategic Highway Research Program), resultó en la especificación de ligantes asfálticos basada en el Grado de Desempeño (PG, Performance Grade) que clasifica los ligantes de acuerdo con las condiciones climáticas y el tipo de sollicitación de tráfico a las que el pavimento será sometido.

Datos como temperatura máxima del pavimento durante siete días consecutivos, temperatura mínima del pavimento, confiabilidad, tiempo de carga y volu-

men de tráfico son usados en la especificación de ligantes Superpave para seleccionar el ligante apropiado para soportar a la deformación permanente y a los agrietamientos por fatiga, siendo que la clasificación determina el grado de desempeño del ligante asfáltico.

Los esfuerzos en investigaciones para mejorar el desempeño de la capa asfáltica de los pavimentos, con la intención de prolongar su vida útil y atender adecuadamente las condiciones de clima y tránsito no se deben restringir a los materiales comúnmente encontrados en mezclas asfálticas (ligante asfáltico, piedra chancada y filler mineral), también se deben considerar los modificadores, que pueden ser materiales elastoméricos, termoplásticos, termorrígidos, cauchos naturales y/o sintéticos, entre otros.

Una alternativa para que los pavimentos puedan soportar las variaciones climáticas, así como los crecientes aumentos del tránsito, es el uso de asfaltos de alto desempeño, destacándose, entre ellos, los asfaltos modificados por polímero SBS. La función básica de un polímero, cuando es adicionado al asfalto, es reducir la susceptibilidad térmica, mejorando el comportamiento elástico del asfalto y proporcionando el aumento de la resistencia a la deformación perma-

nente de las mezclas asfálticas en situaciones extremas de altas temperaturas en servicio, la disminución de las fisuras en bajas temperaturas y la disminución de las fisuras por fatiga. Los polímeros también mejoran la adhesión entre los agregados y el asfalto, disminuyendo la abrasión y mejorando la resistencia a la oxidación.

Objetivos

Los objetivos detallados de este trabajo son:

- Establecer el grado de desempeño del ligante asfáltico peruano convencional PEN 60/70 y modificado con polímero SBS.
- Establecer los ligantes asfálticos indicados para uso en la pavimentación asfáltica en las diferentes regiones del Perú;
- Evaluar el comportamiento de los asfaltos convencionales y modificados con polímero SBS a la deformación permanente (ahuellamientos) de mezclas asfálticas sin envejecimiento y con envejecimiento a corto plazo;
- Evaluar el comportamiento de los asfaltos convencional y modificados con polímero SBS a la vida a la fatiga (fisuras y grietas) de mezclas asfálticas sin envejecimiento y con envejecimiento a corto plazo;

→ Programa experimental

El programa experimental fue compuesto de cuatro etapas: (1) determinación del grado de desempeño PG de los asfaltos para las diferentes regiones del Perú, (2) determinación de las propiedades del agregado utilizado, (3) modificación del ligante asfáltico peruano con polímero SBS y determinación de las propiedades de los ligantes asfálticos utilizados por el método convencional y Superpave y (4) determinación del comportamiento de las mezclas asfálticas producidas frente a los ensayos creep dinámico y vida a la fatiga.

Desempeño de ligantes asfálticos

La especificación Superpave para ligantes asfálticos define el grado de desempeño (PG) con base en registros de temperaturas ambiente de estaciones meteorológicas por un período mínimo de 20 años. Se calcula el promedio y la desviación estándar de las temperaturas máximas del aire de los siete días consecutivos más calurosos del año y el promedio y la desviación estándar de la temperatura mínima del aire del día más frío del año. Posteriormente, son calculadas las temperaturas del pavimento. El grado de desempeño de los ligantes asfálticos varía en niveles, siendo que cada nivel equivale a 6°C, tanto en altas como en bajas temperaturas. El PG a altas temperaturas es determinado a través de ensayos en el Reómetro de Corte Dinámico (Dynamic Shear Reometer – DSR) con ligante virgen y envejecido a corto plazo en el Horno Rotatorio de Película Delgada (Rolling Thin Film Oven Test – RTFOT), el PG a bajas temperaturas es determinado a partir del ensayo de módulo de rigidez del asfalto en el Reómetro de Flexión en Viga (Bending

Beam Rheometer – BBR) el mismo que es realizado con asfalto envejecido en el RTFOT y el Vaso de Envejecimiento a Presión (Pressure Aging Vessel – PAV). Los asfaltos definidos por el método Superpave son representados en la [Tabla 1](#) (Motta et al, 1996).

Selección del grado de desempeño (PG)

Para la selección del PG de ligantes asfálticos, fueron utilizados datos de 120 estaciones meteorológicas que operaron en los últimos 25 a 30 años, proporcionados por el Senamhi (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). Esta base de datos no cuenta con información meteorológica de los departamentos de Ucayali y Madre de Dios, debido a que las estaciones meteorológicas de esas regiones se encontraban inoperativas.

Cálculo del grado de desempeño (PG) del ligante asfáltico

Para la selección del PG del ligante asfáltico, fueron realizados los cálculos de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento, utilizándose inicialmente la metodología del SHRP original y, posteriormente las modificaciones basadas en el LTPP Bind (FHWA).

El cálculo de las temperaturas máximas a 20 mm de profundidad del pavimento fue realizado por tres modelos diferentes: Modelo recomendado por el SHRP original, y los modelos, basados en investigaciones realizadas por los investigadores del LTPP Bind (FHWA) de 1996 y 2004. De estos tres, el modelo más actualizado del LTPP Bind (2004) proporciona los valores más críticos, ya que ese modelo lleva en consideración parámetros de tiempos de duración de las temperaturas máximas horarias,

velocidad del viento, y radiación solar utilizando el modelo climático integrado (ICM) de la FHWA para el cálculo de las temperaturas máximas del pavimento.

El cálculo de las temperaturas mínimas del pavimento fue realizado por cuatro modelos diferentes. El modelo recomendado por el SHRP original, que toma la temperatura mínima del aire como la temperatura mínima del pavimento, el modelo desarrollado por los investigadores canadienses del C-SHRP que calcula temperaturas no muy conservadoras como las del SHRP original, y los modelos desarrollados por el LTPP Bind basado en estudios de desempeño de 30 tramos experimentales, de esos cuatro, el modelo del LTPP Bind de 1996, proporciona temperaturas del pavimento menos severas y el modelo del SHRP original proporciona los valores de temperaturas mínimas más críticas.

Considerándose un 98% de nivel de confianza y los resultados de las ecuaciones presentadas, por el modelo del LTPP Bind (2004) por ser ésta el último avance para el cálculo de las temperaturas máximas y la del SHRP original para el cálculo de las temperaturas mínimas por ser el modelo más crítico por encontrarnos en un país megaclimático que presenta gradientes térmicos en períodos de tiempo cortos. Pudieron ser determinados los ligantes asfálticos más indicados, de acuerdo con las Especificaciones Superpave, para todas las regiones del Perú, con excepción de los Departamentos de Madre de Dios y Ucayali, localizados en la frontera con la Amazonía brasileña. Fue elaborado el mapa (Figura 1) a partir de las condiciones climáticas de cada región del Perú, destacándose que no son considerados el volumen y la velocidad de tráfico, por ser esas condiciones variables específicas para cada región.

Selección del grado de desempeño (PG) del ligante asfáltico

Para la selección del ligante asfáltico se consideró las condiciones climáticas de las regiones naturales del Perú. El país presenta 28 tipos de clima, de los 32 establecidos por Thornthwaite, consti-

Tabla 1: Intervalos para el grado de desempeño PG de ligantes asfálticos

Clasificación a Temperatura Alta	Clasificación a Temperatura Baja
PG 46	-34, -40, -46
PG 52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
PG 58	-16, -22, -28, -34, -40
PG 64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 70	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 76	-10, -16, -22, -28, -34
PG 82	-10, -16, -22, -28, -34

tuyéndose en un país mega-climático. Las temperaturas máximas calculadas fueron registradas en la estación meteorológica de Junin – Satipo, y las mínimas en la estación meteorológica de Puno – Chucuito – Mazocruz, concluyéndose que para atender todas las condiciones climáticas del Perú, el ligante asfáltico debe tener un PG 70 -22.

Según Brown y Cooley (1999), la tendencia es usar un ligante asfáltico convencional o modificado con grado de desempeño (PG) uno o dos grados arriba de lo recomendado, de acuerdo a la temperatura de la región. De esa forma, fueron realizados los ajustes para la selección del ligante asfáltico por nivel de tráfico y velocidad, considerándose un porcentaje de tráfico lento (velocidad media de 20 a 70 km/h) donde el C-SHRP; SUPERPAVE 2000 recomienda incrementar en un nivel el grado de desempeño, tomando en consideración esta recomendación, el ligante asfáltico debe tener un PG 76 -22 para atender las condiciones climáticas y de tráfico del Perú.

Programa de laboratorio

Los agregados utilizados son de origen basáltico provenientes de la cantera Bandeirantes, localizada en la ciudad de San Carlos – SP. Fueron determinados sus propiedades de origen: dureza, durabilidad y materiales contaminantes, así como la densidad y absorción de agua basados en las normas ASTM C-127 y ASTM C-128 de los agregados gruesos y finos. Los resultados de estos parámetros son presentados en la [Tabla 2](#).

Figura 1: Indicación de ligantes asfálticos, según clasificación por desempeño, para el Perú sin considerar velocidad y volumen de tránsito.

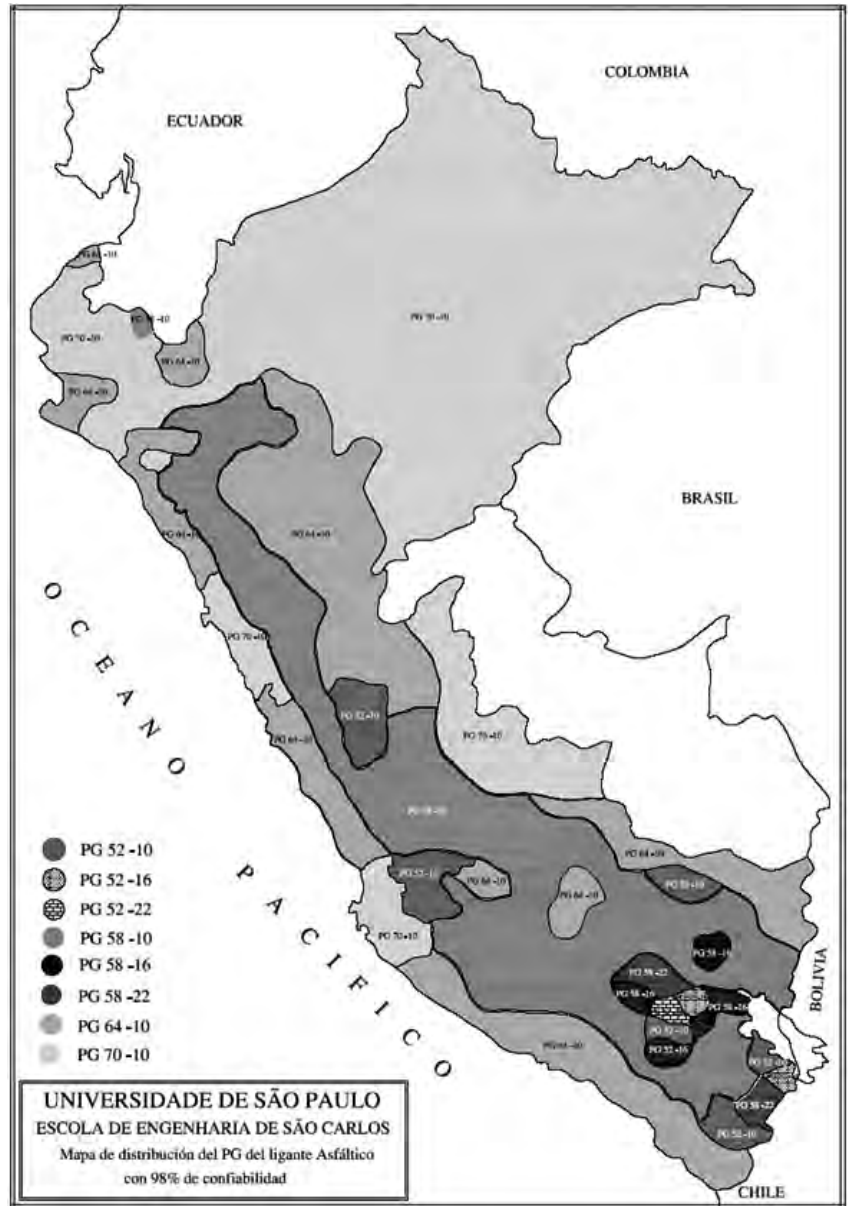


Tabla 2: Propiedades de origen de los agregados.

Propiedades	Agregado Mineral		
	Piedra 3/4"	Piedra 1/2"	Arena Chancada
Densidad real	2,876	2,883	2,893
Densidad aparente (superficie seca)	2,767	2,788	2,839
Densidad aparente (superficie saturada)	2,805	2,821	2,857
Absorción (%)	1,37	1,18	0,66
Abrasión (%)	21	23	--
Durabilidad SO4Mg	9,05	9,55	9,85
Equivalente de arena	--	--	87
Materiales contaminantes	--	--	--

→ Fueron determinadas, también, las propiedades de consenso como son:

- Angularidad del agregado grueso (ASTM D-5821), definida como el porcentaje en peso de agregado grueso (AAG), retenido en el tamiz de abertura 4,75 mm, que posea una o más caras fracturadas, la clasificación se da por el número de caras fracturadas;
- Angularidad del agregado fino (AAF) (ASTM C-1252), definida como el porcentual de vacíos en el agregado fino que pasa en el tamiz de abertura 2,36 mm, determinada por el porcentaje de vacíos no compactados contenidos entre las partículas de los agregados, cuando son vertidos de una altura de caída estandarizada, en un cilindro de volumen conocido;
- Partículas planas y alargadas (PPA) (ASTM D 4791), definida como el porcentaje en peso del agregado grueso, con relación entre la mayor (largo) y menor (ancho) dimensión de las partículas en una proporción de 5:1. Laminaridad alta indica la gran presencia de partículas planas y alargadas, lo

que aumenta la tendencia de ruptura de agregados durante la compactación y vida en servicio del pavimento;

- Contenido de finos (AASHTO T 176): definido como el porcentual en peso de material silte más arcilla, pasante en el tamiz de abertura 0,075 mm presente en el agregado. Un gran contenido de arcilla impregnado en los agregados dificulta la adhesión del ligante al agregado y deja la mezcla más susceptible a la acción del agua;
- La textura superficial de las partículas del agregado grueso es evaluada visualmente, siendo clasificada como lisa o rugosa.
- Los resultados de estos parámetros son presentados en la [Tabla 3](#).

Ligantes asfálticos

Fueron utilizados tres tipos de ligantes asfálticos:

- Cemento Asfáltico de Petróleo convencional PEN 60/70, proveniente de la Refinería Conchan – Lima – Perú;
- Cemento Asfáltico de Petróleo modificado por polímero SBS (Betutec), pro-

veniente de la empresa Tecnología de Materiales (TDM) – Perú y;

- Cemento Asfáltico de Petróleo modificado por polímero SBS (PG 76 -22) producido para efectos de esta investigación, teniendo como materia prima el cemento asfáltico de petróleo peruano PEN 60/70 y el polímero SBS. La producción del asfalto modificado para esta investigación fue realizada llevando en consideración el cálculo de grado de desempeño para atender las condiciones meteorológicas y de tráfico más críticas del Perú, establecido en PG 76 -22 (ESCALANTE, 2007).

El proceso de incorporación de SBS en el asfalto, presentado en la [Figura 2](#) requiere que el CAP utilizado como materia prima tenga una relación asfáltenos/aromáticos para asegurar compatibilidad o estabilidad al almacenamiento del producto final. Las condiciones de operación y preparación, dependen de la granulometría y el contenido de SBS, del tiempo de mezcla, de la velocidad de agitación y de la temperatura. Se empleó, agitación con alta tasa de cizallamiento, SBS en pellet, atmósfera inerte, temperatura y tiempo suficiente para asegurar la incorporación del polímero, con el objetivo de obtener resistencia al envejecimiento, mejorar las propiedades reológicas y compatibilidad.

Los tres ligantes asfálticos utilizados tienen como origen el asfalto producido en la refinería de Conchan (Lima –Perú). Fueron caracterizados por el método convencional y Superpave, a partir del cual se determinó que el asfalto convencional presenta un grado de desempeño PG 64 -22 y los asfaltos modificados por polímero SBS presentan un grado de desempeño PG 76 -22, lo que muestra que estos ligantes asfálticos tienen la capacidad de atender las condiciones climatológicas y de tráfico del Perú.

Los resultados de la caracterización de los ligantes asfálticos realizados por el método convencional y Superpave son presentados en la [Tabla 4](#).

Figura 2: Proceso de incorporación del polímero al asfalto



Tabla 3: Propiedades de consenso de los agregados

Agregado	AAG (%)	AAF (%)	PPA – 5:1	Contenido de finos	Textura Superficial
Basalto	100	58	3	7,21	rugosa

Tabla 4: Características físicas de los ligantes asfálticos utilizados

CARACTERÍSTICAS	UND.	LIGANTE ASFÁLTICO			MÉTODOS	
		PEN 60 / 70	AMP Betutec	AMP PG 76 -22	ABNT	ASTM
Penetración (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	60	49	56	NBR 6576	D 5
Punto de ablandamiento	°C	51	66	68	NBR 6560	D 36
Viscosidad Brookfield a 135°C	cP	455	1383	1089	NBR 15184	D 4402
Viscosidad Brookfield a 155°C	cP	178	485	581	NBR 15184	D 4402
Viscosidad Brookfield a 175°C	cP	81	222	278	NBR 15184	D 4402
Índice de susceptibilidad térmica		-0,5	2,1	2,8		
Punto de fulgor	°C	235	> 240	> 240	NBR 11341	D 92
Recuperación Elástica	%	.-	86	93	NBR-15086	D 6084
Estabilidad al Almacenamiento	°C	.-	0	0	NBR 15166	
DSR – Sin envejecimiento	°C	64	76	76		P 246
Corte dinámico G*/sen δ ≥ 1 KPa	kPa	1,999	1,598	1,130		P 246
Después de envejecimiento en RTFOT a 163 °C, 85, min						
Variación de masa	% massa	-0,518	-0,312	-0,304		D 2872
Viscosidad Brookfield a 135°C	cP	949	2535	1943	NBR 15184	D 4402
Viscosidad Brookfield a 155°C	cP	319	774	898	NBR 15184	D 4402
Viscosidad Brookfield a 175°C	cP	134	312	342	NBR 15184	D 4402
Relación de viscosidad, max	%	2,0	1,7	1,6		
Punto de ablandamiento	°C	61	72	73	NBR 6560	D 36
Aumento/Disminución do P. A.	°C	+10	+6	+5		
Penetración	0,1mm	28	34	36	NBR 6576	D 5
Índice de susceptibilidad térmica		-0,1	2,2	2,5		
Penetración retenida	%	47	69	64		
Retorno Elástico	%	.-	82	89	NBR-15086	D 6084
Retorno Elástico retenido	%	.-	95	96		
DSR - despues RTFOT	°C	70	76	76		P 246
Corte dinámico G*/senδ ≥ 2,2 KPa	kPa	3,343	4,104	3,794		P 246
Después de envejecimiento en RTFOT/PAV						
Corte dinámico G* senδ ≤ 5000 KPa	°C	22	19	19		P 246
Rigidez a la fluencia BBR S ≤ 300MPa y m ≥0,3	°C	-22	-22	-22		D 6648

Mezclas asfálticas

La distribución granulométrica de la mezcla, presentada en la [Tabla 4](#) atiende a los criterios del Superpave para un Diámetro Máximo Nominal de 12,5 mm, pasando entre los puntos de control y encima de la zona de restricción, además de encajarse dentro de la faja C del DNER, conforme puede ser observado en la [Figura 2](#). Se puede observar, también que la granulometría de la mezcla es casi paralela a la

línea de máxima densidad, lo que representa una buena distribución granulométrica de la mezcla. Es importante resaltar que a pesar de haber la recomendación para que la curva pase fuera de la zona de restricción, varios investigadores ya constataron que la zona de restricción no es capaz de prevenir curvas granulométricas con bajo desempeño con respecto a la deformación permanente, recomendando inclusive su eliminación como cri-

terio de desempeño (HAND et al., 2001). La composición granulométrica de los agregados presentada en la [Figura 4](#) fue realizada en función de la cantidad necesaria retenida en cada tamiz, siendo la composición de los cuerpos de prueba realizada en una balanza con precisión de 0,01g, con la finalidad de tener una mezcla con granulometría estrictamente controlada, procedimiento que fue repetido para todos los cuerpos de prueba utilizados.

Tabla 5: Distribución granulométrica

Tamiz (mm)	Porcentaje pasado
19,0	100,00
12,5	93,40
9,50	82,54
4,76	60,31
2,36	46,38
1,18	36,09
0,60	28,25
0,30	19,83
0,15	13,22
0,075	7,21

Figura 3: Curva granulométrica de la mezcla

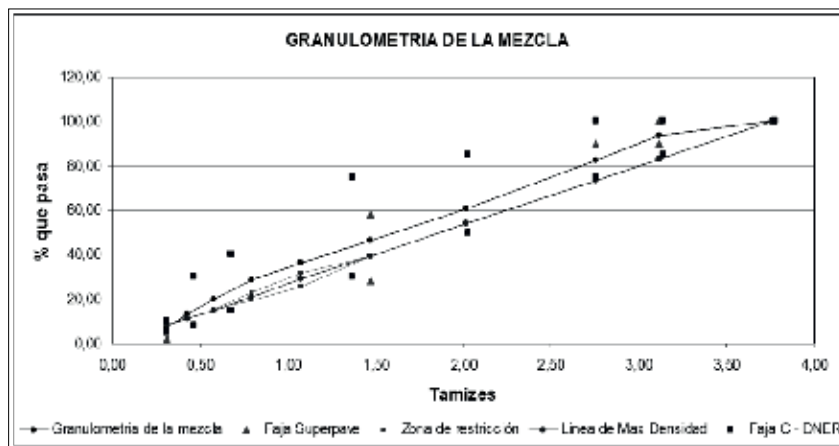


Figura 4: Dosificación controlada de agregados para cada cuerpo de prueba



Los contenidos de diseño de ligante asfáltico fueron obtenidos en dos condiciones: sin envejecimiento (DNER-ME 043/95) y con envejecimiento a corto plazo de 2 horas en la estufa bajo temperatura de compactación (ASTM D 6926/04) llevando en consideración los criterios volumétricos establecidos por el Superpave (4% de volumen de vacíos). Los contenidos de asfalto obtenidos para las mezclas sin envejecimiento fueron de 5,08% para el PEN 60/70, 5,10% para el AMP Betutec y 5,12% para el AMP PG 76 -22, siendo adoptado un contenido de diseño de 5,1% para los tres ligantes asfálticos utilizados. Para mezclas con envejecimiento a corto plazo fueron obtenidos contenidos de 5,76% para el PEN 60/70, 5,79% para el AMP Betutec y 5,82% para el AMP PG 76 -22, siendo adoptado un contenido de diseño de 5,8% para los tres ligantes asfálticos utilizados.

Moldado de los cuerpos de prueba

Los cuerpos de prueba fueron molda-

dos con el contenido óptimo de diseño calculado para cada condición de envejecimiento y tipo de ligante asfáltico, para realizar los ensayos de fluencia por compresión uniaxial dinámica y vida a la fatiga. El proceso de moldado fue realizado sin envejecimiento, con envejecimiento a corto plazo de 2 horas de acuerdo a la ASTM D 6926-04, y con envejecimiento a corto plazo de 4 horas de acuerdo a la AASHTO PP2.

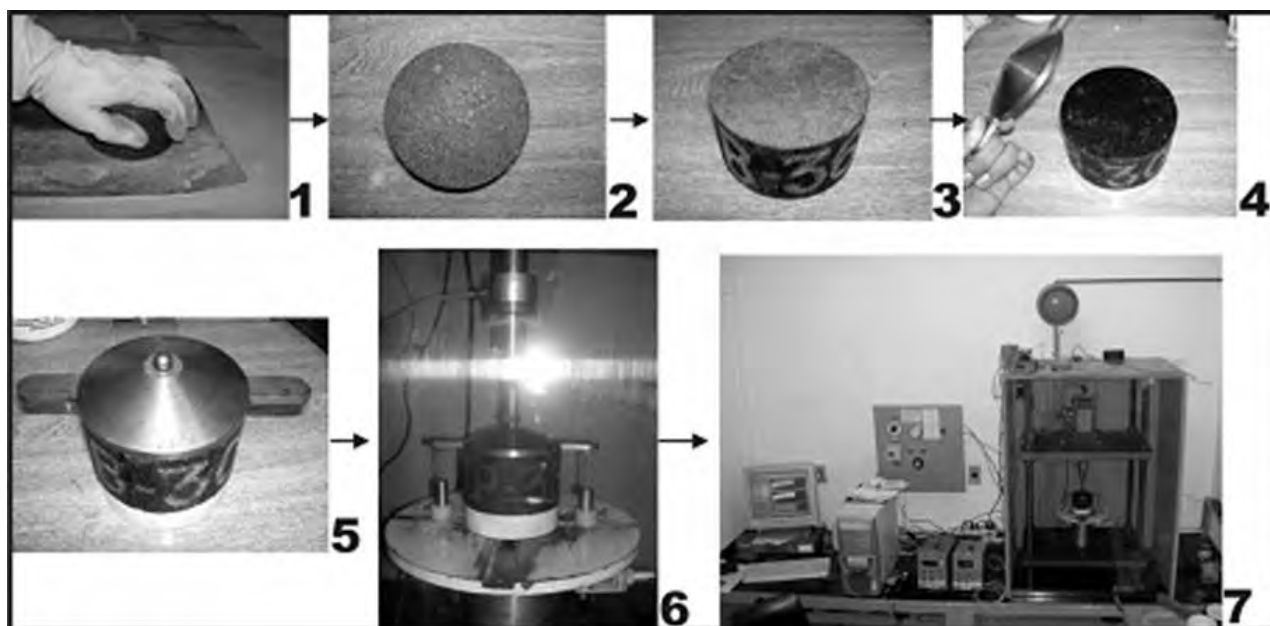
Compresión Uniaxial Dinámica (“Creep Dinámico”)

Segun Valkering et al. (1990) e Tayebali (1992), el “static creep test” es capaz de evaluar el efecto del asfalto en términos de deformación permanente para asfaltos convencionales, sin embargo, cuando el asfalto es modificado por polímeros, en particular por el SBS, el comportamiento reológico es alterado, y el ensayo estático no es mas capaz de evaluar la mezcla, lo que no pasa con el ensayo dinámico. La deformación permanente acumulada, obtenida bajo

carga dinámica, representa mejor el potencial para la deformación permanente en mezclas con asfalto modificado. Según Mohamed e Yue, (1994), la carga repetitiva de compresión uniaxial en muestras cilíndricas de concreto asfáltico simula las cargas repetidas del tráfico en el pavimento asfáltico. A través de este tipo de ensayo es posible obtener, para todas las muestras, una tasa constante de deformación permanente acumulada y, a través de esta tasa, es posible evaluar la susceptibilidad de muestras ensayadas a la deformación permanente.

El ensayo de compresión uniaxial dinámico es realizado a través de la aplicación de pulsos de carga, con un tiempo de duración de 0,1 s, intercalados con un tiempo de reposo de 0,9 s, en un total de 5000 pulsos, y un período de pre-condicionamiento que consiste en la aplicación de 200 ciclos de carga con la tensión de ensayo. La figura 5 muestra los procedimientos de ensayo de fluencia por compresión uniaxial dinámica.

Figura 5: Ensayo de Fluencia por Compresión Uniaxial Dinámica (creep dinámico).



Ensayo de Fatiga por compresión diametral

La vida a la fatiga de un material asfáltico puede ser expresada como el número de aplicaciones de carga necesario para que la mezcla llegue a la ruptura o a un desplazamiento vertical mayor a 6 mm (definido en el laboratorio de carreteras del STT-EESC-USP) bajo determinado estado de tensiones. En el ensayo de fatiga por compresión diametral con tensión controlada, la carga aplicada es mantenida constante y las deformaciones resultantes se incrementan durante la ejecución del ensayo. Consiste en la aplicación de un ciclo de carga con duración de 0,1 segundo, con 0,9 segundos de intervalo, para representar el tiempo de intervalo entre la aplicación de una rueda y otra. En este tipo de ensayo, el cuerpo de prueba está sujeto a un estado bi-axial de tensiones.

Debido a que el ensayo de fatiga en mezclas asfáltica todavía no está normalizado en el Brasil ni en el Perú, este fue realizado con base en la literatura brasilera y en la experiencia de centros de investigación, como COPPE/UFRJ y UFRGS.

El ensayo fue realizado por compresión diametral a tensión controlada, aplicándose cargas verticales repetidas de tal forma que las tensiones generadas correspondan a los valores de 20, 30, 40 y 45 % de la resistencia a la tracción (RT).

La diferencia de tensiones ($\Delta\sigma$) y la deformación resiliente (ϵ_i), se calculó con las ecuaciones (1) y (2) respectivamente.

$$\Delta\sigma = \frac{8F}{100 \cdot \pi \cdot d \cdot h}$$

La representación de las curvas de fatiga en un gráfico bi-logarítmico, con los números de sollicitaciones de carga que llevaron a la ruptura del cuerpo de prueba en las ordenadas y las diferencias de tensiones y deformaciones que llevaron a la ruptura en las abscisas. La curva de fatiga para el material se determina con las ecuaciones (3) y (4).

$$\epsilon_i = \frac{\%RT}{MR}$$

Una alternativa para que los pavimentos puedan soportar las variaciones climáticas, así como las crecientes sollicitaciones del tránsito, es el uso de asfaltos de alto desempeño, destacándose, entre ellos, los asfaltos modificados por polímero SBS.

Análisis de resultados

Del análisis de resultados, se puede determinar el grado de desempeño PG de los ligantes asfálticos requeridos en las diferentes regiones del Perú. Para las regiones del litoral Pacífico, que comprende la región entre 0 y 500 m de altitud, y parte de los valles interandinos que va hasta 800 m de altitud y cuyo clima es caracterizado por poca precipitación (promedio de 50 mm por año), los ligantes asfálticos indicados son el PG 64-10 y PG 70-10, por lo que en esta región se recomienda el uso de un asfalto con PG 70 -10.

Para la región de la Sierra, localizadas entre 800 y 4800 m de altitud, con relevo natural muy accidentado por la cordillera de los Andes, con climas variados, temperaturas que dependen de la altitud y del local con precipitaciones que varían de 100 mm a 1000 mm al año, los ligantes asfálticos indicados son: PG 58-10, PG 58-16, PG 58-22, PG 52-10, PG 52-16, PG 52-22. Las regiones más frías de la Sierra están localizadas en el departamento de Junín, provincia de Yauli, en el departamento de Cusco, provincia de Espinar, en el departamento de Arequipa, provincia de Caylloma y en el departamento de Puno en las provincias de Melgar, San Román, Lampa, Puno, Collao y Chucuito, esta última es considerado la región

Figura 6: Ensayo de Fatiga por compresión diametral.



→ mas fría del Perú, por lo que para la región de la sierra se recomienda utilizar un asfalto con PG 58 -22.

Para la región de la Selva, localizada entre 80 y 1000 m de altitud, cuyas precipitaciones varían entre 1500 y 4000 mm por año, la clasificación PG de los ligantes asfálticos está comprendida entre PG 64-10 y PG 70-10, recomendándose el uso de un asfalto con PG 70 -10.

A todos estos grados de desempeño calculados para las condiciones meteorológicas para las diferentes regiones se debe hacer el ajuste por velocidad y volumen de tránsito en 1 o 2 niveles de acuerdo al requerimiento específico de cada proyecto.

Índice de susceptibilidad térmica

A partir de los datos de índice de susceptibilidad térmica (IST) para las muestras analizadas, se puede concluir que:

El asfalto convencional PEN 60/70 presenta un índice de susceptibilidad térmica de -0,5, comprendido en la faja de -1,5 a +0,7 especificada por las normas brasileras para asfalto PEN 50-70, y en la faja de -2 a +2 que corresponde a muestras asfálticas que presentan elasticidad, siendo denominados tipo sol o bitúmenes normales, que son apropiados para los servicios de pavimentación (SENÇO, 1997).

Los AMP Betutec y PG 76 -22 presentan índices de susceptibilidad térmica de 2,1 y 2,8 respectivamente. Valores mayores que +2 corresponden a asfaltos poco susceptibles y que presentan elasticidad, sin embargo valores menores que -2 son relacionados a asfaltos muy susceptibles y con comportamiento viscoso. De los resultados se puede concluir que los AMP presentan elasticidad y son poco susceptibles, además

de respetar los parámetros especificados por la norma DNER-EM-396/99.

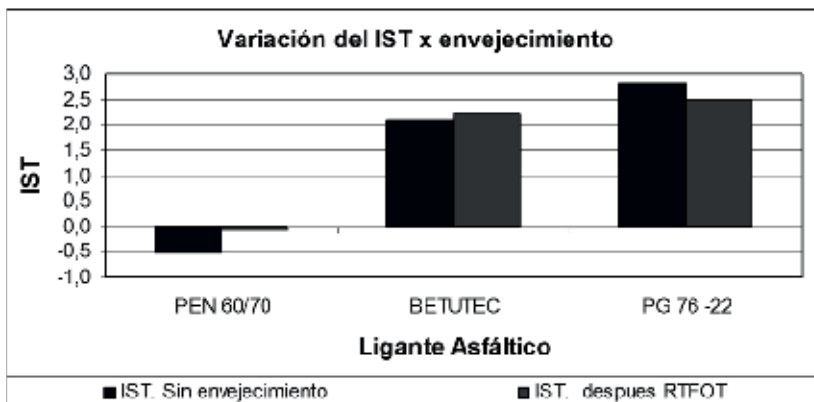
El índice de susceptibilidad térmica de los ligantes asfálticos también sufre variación con el envejecimiento, lo que está relacionado con las variaciones sufridas en los ensayos de penetración y punto de ablandamiento después RTFOT. En la figura 7 se presenta la variación del índice de susceptibilidad térmica del ligante sin envejecimiento y después envejecimiento en el RTFOT.

Grado de desempeño Superpave

El PG del ligante asfáltico se encuentra directamente relacionado con el desempeño de las mezclas asfálticas, (deformación permanente, fisuras por bajas temperaturas y vida a la fatiga), y como fue visto, cada región necesita de un ligante con grado de desempeño capaz de atender sus condiciones meteorológicas y de tráfico.

El PG a altas temperaturas de los asfaltos modificados estudiados (76°C) fue superior al PG del ligante convencional (64°C), lo que quiere decir que los AMP trabajan adecuadamente hasta temperaturas de 76 °C, lo que permite concluir que el proceso de modificación permitió incrementar el desempeño a altas temperaturas (mayor resistencia a la deformación permanente) de 2 niveles de la clasificación Superpave. Ese salto en el desempeño califica, a principio, estos materiales para uso en las regiones mas calientes de la costa y selva peruana, que requieren ese PG obtenido, lo que no se sería posible atender con el CAP convencional PEN 60/70.

Figura 7:- Variación del IST sin envejecimiento y después de envejecimiento en el RTFOT.



“Creep dinámico”

Los resultados de los ensayos de fluencia por compresión uniaxial dinámica de las mezclas asfálticas mostraron que los asfaltos modificados por polímero presentan menores valores de deformación final, así como menores inclinaciones de la curva de fluencia y

mayores módulos de fluencia para todas las condiciones de envejecimiento, demostrando de esta manera el mejor comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas por polímero a la deformación permanente, cuyos resultados pueden observarse en las figuras 9 10 y 11.

Figura 8: - Clasificación Superpave de los ligantes asfálticos utilizados.

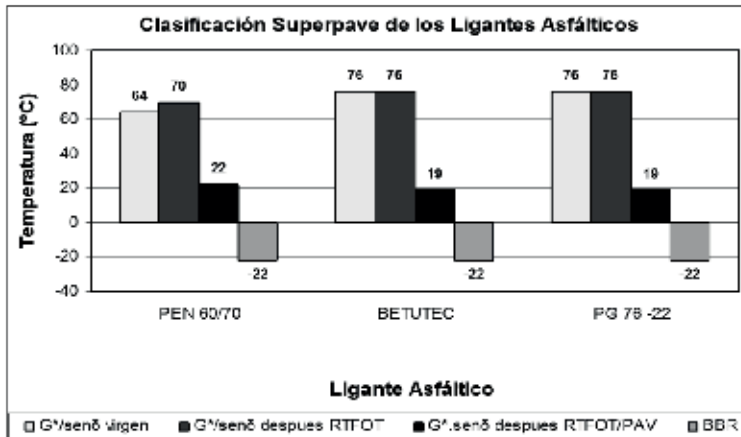


Figura 9: - Variación de la deformación en función de la condición de envejecimiento.

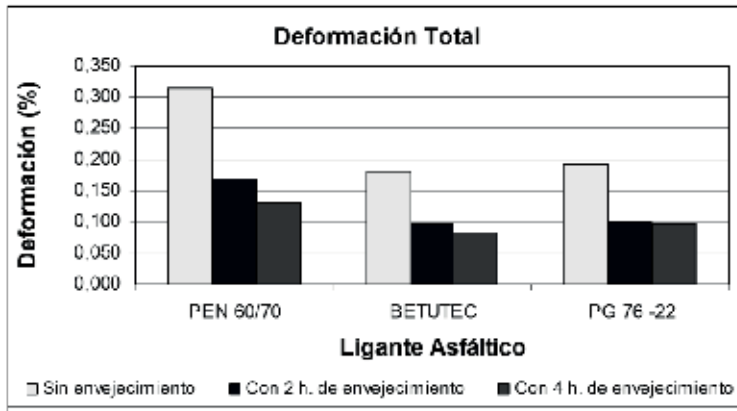
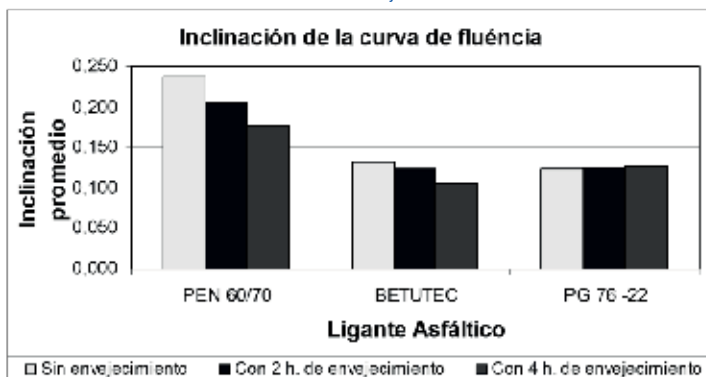


Figura 10: - Variación de la inclinación de la curva de fluencia en función de la condición de envejecimiento.



Ensayo de vida a la fatiga

La vida a la fatiga fue determinada a través del ensayo de compresión diametral bajo tensión controlada y el criterio de falla fue, la ruptura propiamente dicha o un desplazamiento vertical acumulado del cuerpo-de-prueba de 6 mm. La vida a la fatiga es expresada en función de la diferencia de tensiones ($\Delta\sigma$), entre la tensión de tracción y de compresión, y en función del parámetro de deformación resiliente (ϵ_i), calculado a través de las expresiones (1 y 2).

Con base en los resultados de los ensayos fueron generados los modelos de fatiga en función de la diferencia de tensiones y de la deformación resiliente calculada para los tres asfaltos utilizados y para todas las condiciones de envejecimiento. La tabla 7 muestra los modelos de fatiga obtenidos a partir de los ensayos en los tres ligantes asfálticos para todas las condiciones de envejecimiento.

Análisis mecánica

Fue realizado un análisis estructural con el objetivo de comparar el comportamiento de las mezclas con relación a la vida a la fatiga, con la ayuda del programa computacional ELSYM5 (Elastic Layered System 5), que determina las tensiones, los desplazamientos y las deformaciones en una estructura de pavimento constituido por hasta cinco capas elástico-lineales, bajo una condición de carga pré-establecida. Para fines de comparación, se hizo necesario el estudio de comportamiento

La vida a la fatiga fue determinada a través del ensayo de compresión diametral bajo tensión controlada y el criterio de falla fue, la ruptura propiamente dicha o un desplazamiento vertical acumulado del cuerpo-de-prueba de 6 mm.

Tabla 7: Modelos de fatiga para todas las condiciones de envejecimiento.

Asfalto	Sin envejecimiento	Com 2 horas de envejecimiento	Com 4 horas de envejecimiento
PEN 60/70	$N=3490,8(1/\Delta\sigma)^{4,2683}$	$N=26600(1/\Delta\sigma)^{4,1743}$	$N=82292(1/\Delta\sigma)^{4,8964}$
	$N=6,0 \times 10^{-14}(1/\epsilon_i)^{4,2683}$	$N=5,0 \times 10^{-14}(1/\epsilon_i)^{4,1743}$	$N=4,0 \times 10^{-17}(1/\epsilon_i)^{4,8964}$
AMP Betutec	$N=12779(1/\Delta\sigma)^{4,6417}$	$N=158831(1/\Delta\sigma)^{5,2113}$	$N=458010(1/\Delta\sigma)^{5,9932}$
	$N=5,0 \times 10^{-15}(1/\epsilon_i)^{4,6417}$	$N=5,0 \times 10^{-18}(1/\epsilon_i)^{5,2113}$	$N=2,0 \times 10^{-21}(1/\epsilon_i)^{5,9932}$
AMP PG 76 -22	$N=16924(1/\Delta\sigma)^{4,0476}$	$N=395175(1/\Delta\sigma)^{4,9262}$	$N=116237(1/\Delta\sigma)^{4,4286}$
		$N=7,0 \times 10^{-17}(1/\epsilon_i)^{4,9262}$	$N=7,0 \times 10^{-15}(1/\epsilon_i)^{4,4286}$

→ de las mezclas a partir de un mismo referencial, para lo cual fue asumida una estructura de pavimento muy utilizada en vías de alto volumen de tránsito en el Perú, como algunos tramos de la carretera Panamericana. A partir de estas estructuras de pavimentos (Figura 12)

fueron calculadas las tensiones y deformaciones de tracción en las fibras inferiores del revestimiento.

En la tabla 8 se presentan los resultados de los análisis mecanísticos y el número de solicitaciones admisibles o vida a la fatiga para los tres ligantes asfálticos,

para cada condición de envejecimiento, para una estructura de pavimento con un espesor de carpeta asfáltica de 10cm.

Considerando la misma estructura propuesta para todas las mezclas asfálticas estudiadas, se puede analizar comparativamente la influencia del ligante asfáltico a la vida a la fatiga estimada, para cada condición de envejecimiento. En las mezclas sin envejecimiento, los AMP presentaron vidas a la fatiga de dos a tres veces mas que el PEN 60/70, en las mezclas con dos horas de envejecimiento, los AMP presentaron vidas de fatiga de tres a cinco veces mas que el asfalto convencional y en las mezclas con 4 horas de envejecimiento, también los AMP presentaron vidas de fatiga superiores, demostrándose así que los AMP tienen mejor comportamiento que los asfaltos convencionales, proporcionando mayores vidas a la fatiga para las tres condiciones estudiadas, como se puede observar en la Figura 13.

Figura 11: - Variación del módulo de fluencia en función de la condición de envejecimiento.

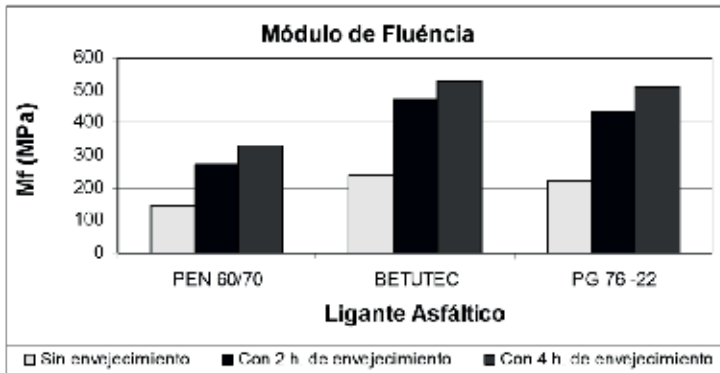
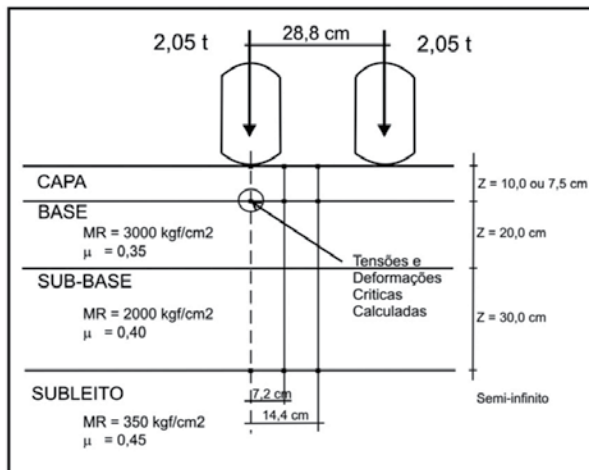


Figura 12: - Perfil utilizado, características y localización del punto de tensiones y deformaciones mas críticas.



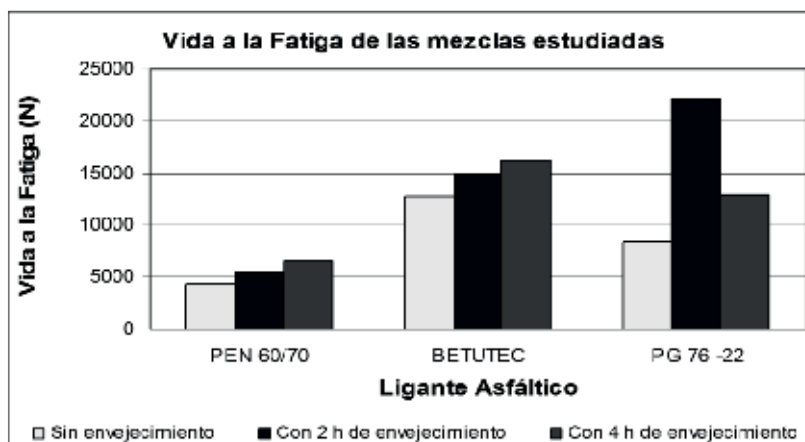
Los ligantes asfálticos modificados por polímero presentaron mejor comportamiento que el ligante asfáltico convencional, presentando bajo índice de susceptibilidad térmica, mayor grado de desempeño PG y mayor resistencia al envejecimiento.

Conclusiones

Fue determinado el mapa de distribución del grado de desempeño PG para las diferentes regiones del Perú, el mismo que debe ser constantemente actualizado con la base de datos de las estaciones meteorológicas.

- Del mapa de distribución del grado de desempeño PG se pudo concluir que sin considerar los efectos de la velocidad y volumen de tráfico, a fin de atender solo las cuestiones meteorológicas para la región de la sierra es necesario utilizar un ligante asfáltico con PG 58-22, entretanto que para las regiones de la Costa y Selva un ligante asfáltico con PG 70-10, a estos valores debe realizarse los ajustes por velocidad y volumen de tránsito en uno o dos niveles de acuerdo al requerimiento de cada proyecto.
- Los ligantes asfálticos modificados por polímero presentaron mejor comportamiento que el ligante asfáltico convencional, presentando bajo índice de susceptibilidad térmica, mayor grado de desempeño PG y mayor resistencia al envejecimiento.

Figura 13: - Vida a la fatiga de las mezclas asfálticas estudiadas.



- El control riguroso de la granulometría, utilizando todas las mallas especificadas por el Superpave, resultó en excelente repetibilidad, tanto en la determinación de las características volumétricas de los cuerpos de prueba, como en los resultados de los ensayos mecánicos, para todas las condiciones de envejecimiento.
- Los resultados del ensayo de fluencia por compresión uniaxial dinámica mostraron, claramente, la mejor resis-

tencia a la deformación permanente de los asfaltos modificados por polímeros, presentando menores porcentajes de deformación total, menores inclinaciones de la curva de fluencia y mayores módulos de fluencia que el asfalto convencional PEN 60/70.

- Los resultados del ensayo de fatiga y el análisis mecanístico mostraron que los asfaltos modificados por polímeros presentaron vidas de fatiga mayores que el asfalto convencional

Tabla 8: - Vida a la fatiga de las mezclas asfálticas para cada condición de envejecimiento.

Condición	Modelo	MR (kgf/cm ²)	$\Delta\sigma$ (Mpa)	N
Ligante Asfáltico: PEN 60/70				
Sin envejecimiento	$N=3490,8(1/\Delta\sigma)^{4,2683}$	21353	0,8383	7411
Con 2 h. de envejecimiento	$N=26600(1/\Delta\sigma)^{4,1743}$	44229	1,2288	11255
Con 4 h. de envejecimiento	$N=82292(1/\Delta\sigma)^{4,8964}$	57502	1,3991	15894
Ligante Asfáltico: AMP Betutec				
Sin envejecimiento	$N=12779(1/\Delta\sigma)^{4,6417}$	23348	0,880	23131
Con 2 h. de envejecimiento	$N=158831(1/\Delta\sigma)^{5,2113}$	51058	1,3204	37317
Con 4 h. de envejecimiento	$N=458010(1/\Delta\sigma)^{5,9932}$	61893	1,4491	49588
Ligante Asfáltico: AMP PG 76 -22				
Sin envejecimiento	$N=16924(1/\Delta\sigma)^{4,0476}$	31194	1,0273	15176
Con 2 h. de envejecimiento	$N=395175(1/\Delta\sigma)^{4,9262}$	65249	1,4856	56230
Con 4 h. de envejecimiento	$N=116237(1/\Delta\sigma)^{4,4286}$	55213	1,3719	28655

PEN 60/70, para todas las condiciones de envejecimiento, variables entre 200% a 500% en función de la condición de envejecimiento, siendo que los mayores valores de vida a la fatiga fueron observados para mezclas con

dos horas de envejecimiento. Se debe aclarar que el objetivo de esta investigación fue comparar el desempeño de las mezclas asfálticas a la luz de los resultados de ensayos de laboratorio, es decir, los modelos de fatiga presen-

tados no deben ser utilizados para la previsión de la vida a la fatiga de las mezclas en servicio, debido a la falta de ajuste laboratorio/campo. ●

(*) Gerente técnico - Grupo TDM

Bibliografía

- Bosscher P. (2000) Relationship between pavement temperature and weather data. Transportation Research Board, Washington, D.C. Proceedings TRB Annual Meeting.
- C-SHRP (1999) Improved standards for a new millennium, C-SHRP Technical Brief # 17.
- McGennis R.B., Anderson T.M., Kennedy T.W., Solaimanian, M. (1994) Background of Superpave asphalt mixture design and analysis - Report FHWA-SA-95-003.
- Mohseni A. (1996) LTPP Seasonal AC pavement temperature models (SATP) - Federal Highway Administration.
- Mohseni, A. e Carpenter S. (2004) Development of enhanced algorithm for Superpave High Temperature Performance Grade (PG) Selection and New Software Version - Long-Term Pavement Performance Group, Federal Highway Administration.
- Motta, L. M. G., Tonial, I., Leite, L. F., Constantino R. S., 1996, Princípios do Projeto e Análise Superpave de Misturas Asfálticas. Traducción comentada: Background of SUPERPAVE Asphalt Mixture Design and Analysis, nº FHWA-SA-95-003, Petrobrás, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Prowell B. D. (1999) Selection and evaluation of performance-graded asphalt binder for Virginia, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville Virginia, VTRC 99-R21.
- LTPP-FHWA, 1998 LTPP Data Analysis: Improved Low Pavement Temperature Prediction, U.S. Department of transportation Federal Highway Administration, June 1998, FHWA RD-97-104.
- ANANI, B.A.; BALGHUNAIM, F.A.; AL-HAZZAA, A.S. (1990) Laboratory and field study of pavement rutting in Saudi Arabia. Transportation Research Record. N. 1259, p. 79-90.
- BAHIA H.U., PERDOMO D., TURNER P. (1997) Applicability of Superpave binder testing protocols to modified binders. Transportation Research Record 1997;1586:16-23.
- BROWN E. R., KANDHAL S. P., ZHANG J. (2001) Performance Testing for Hot Mix Asphalt. NCAT Report 01-05, November 2001, Auburn University, Alabama
- CARPENTER, S. H.; VANDAM, T. (1987) Laboratory performance comparisons of polymer-modified and unmodified asphalt concrete mixtures. Transportation Research Record 1115. p. 62-74.
- CERATTI, J. A.; RUWER, P. M.; OLIVEIRA, J. A. (1996) Estudo do comportamento mecânico de concreto asfáltico com ligante modificado com polímero. 13º Encontro de Asfalto, v.1, p. 290-303.
- DE SENÇO, Wlastermiller. (1997) Manual de técnicas de pavimentação. Editora PINI Ltda 746 p.
- HAND, A.J., STIADY, J.L., WHITE, T.D. et al. (2001) Gradation effects on hot-mix asphalt performance. In: Journal of the Transportation Research Board. National Academy Press. Asphalt Mixtures, 2001, no. 1767, pp 152-157.
- KIN, Y.R.; KIN, N.; KHOSLA, N.P. (1992) Effects of aggregate type and gradation on fatigue and permanent deformation of asphalt concrete. In: MEININGER, R.C. (ed.) Effects of aggregate and mineral fillers on asphalt mixture performance. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, 1992.
- LEITE, L.F.M.; SOARES, B.G. (1997) Boletim Técnico da PETROBRAS, Avaliação da compatibilidade e reologia de asfaltos modificados por SBS Rio de Janeiro, 40 (2/4) : 79-87, abr/dez 1997.
- MOHAMED, H. H.; YUE, Z. (1994) Criteria for evaluation of rutting potential based on repetitive uniaxial compression test. Transportation Research Record 616, p. 38 – 40.
- MUGAYAR N. A. (2004) Avaliação dos efeitos do tipo de asfalto e da distribuição granulométrica do agregado nas fluências estática e dinâmica de misturas asfálticas densas, 118p. Dissertação de MSc. EESC-USP, São Carlos, SP, Brasil.
- TAYEBALI, A. A.; GOODRICH, J. L.; SOUSA, J. B.; MONISMITH, C. L. (1992) Influence of the rheological properties of modified asphalt binders on the load deformation characteristics of the binder – aggregate mixtures. Polymer Modified Asphalt binders, American Society for Testing and Materials, ASTM STP 1108, p. 77-95.
- VALKERING, C. P.; LANCON, D. J. L.; HILSTER, and STOKER, D. A. (1990) Rutting resistance of asphalt mixes containing non-conventional and polymer-modified binders. Symposium – Improved Rut Resistance, Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT), Proceedings, p. 590-609.
- YILDIRIM Y., SOLAIMANIAN M., and KENNEDY T. (2000) Mixing and compaction temperatures for hot mix asphalt concrete. Research Report Number 1250-5 Texas Department of Transportation.



INSTITUTO LATINOAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS VIALES

Programación de actividades 2016

CONGRESOS:

- 2° Congreso Nacional de Pavimentos Asfálticos.
- 1er. Congreso Nacional de Pavimentos de concreto hidráulico.
- 1er. Congreso Nacional de Seguridad Vial.

SIMPOSIOS:

- 1er. Simposio sobre Pavimentos Flexibles
- 1er. Simposio sobre Pavimentos Rígidos
- 1er. Simposio sobre Construcción y Conservación de Carreteras y Puentes
- 1er. Simposio sobre la importancia de las Asociaciones Público Privadas (APP)
- 1er. Simposio sobre Infraestructura Vial y Cambio Climático
- 1er. Simposio sobre la Construcción y Mantenimiento de Vías Urbanas
- 1er. Simposio sobre transporte de pasajeros
- 1er. Simposio sobre transporte de cargas

CURSOS Y CONFERENCIAS

Varios sobre temas vinculados a la Vialidad y el Transporte.

Lima, diciembre de 2015



Aeropuerto de Isla de Coche, una pequeña isla vecina a la isla de Margarita, en el Caribe venezolano.



Rehabilitación estructural del aeropuerto de Isla de Coche

La rehabilitación estructural del aeropuerto de Isla de Coche -pequeña isla vecina a la isla de Margarita- en el Caribe venezolano, presentó ciertos retos. Debido a la ausencia de materiales procesados y equipos de producción de mezclas en caliente, además de serias limitaciones de transporte, fue necesario diseñar y ejecutar la rehabilitación con mezcla en frío con emulsión asfáltica (EA), empleando –por economía- un alto porcentaje de arena local.

(*) AUGUSTO JUGO B
 (**) JOSÉ V. HEREDIA T.

El aeropuerto de la isla de Coche fue construido a fines de los años 70's, y pavimentado con mezcla asfáltica en frío, fabricado en sitio con agregados locales empleando RC-2 (hoy RC-250) como ligante, además de un sello con el mismo material y arena de playa.

Durante más de 30 años en servicio para aeronaves de aviación general, no recibió trabajos de mantenimiento o rehabilitaciones importantes. La pista tiene una longitud de 1.200 m por 30 m de ancho, una calle de rodaje que conecta con una plataforma de estacionamiento de 6.000 m². Debido al daño producido por el tiempo en servicio, se hizo imperiosa la necesidad de ejecutar una rehabilitación integral de los pavimentos. Esta labor fue acometida en 2014.

La isla de Coche se ubica a 15 km al sur de la isla de Margarita. Su principal comunicación con esta isla, es mediante ferry de poca capacidad y embarcaciones menores.

El primer paso fue la elaboración de un proyecto preliminar, para estimar las acciones a fin de adecuar el pavimento existente para el uso de aeronaves de 48 mil lbs. La estructura original estaba fundada sobre materiales granulares tipo A-2-6 de buen valor soporte, capas de mezcla asfáltica en frío con RC-2 de espesor entre 14 y 16 cm. Para la fecha de la evaluación, la superficie mostraba importante daño superficial, disgregación, grietas longitudinales y de bloque, sin embargo no se observó daño estructural importante.

Debido a la ausencia de materiales procesados y equipos de producción de mezclas en caliente -en la isla- lo que aunado a las dificultades de transporte hacía inviable la obra con mezclas en caliente, además de costosa, se decidió explorar la posibilidad de preparar mezclas con agregados (arenas) locales y Emulsión Asfáltica (EA). El primer paso fue la evaluación de dos agregados -locales- disponibles en cantidades suficientes. Estas arenas solas o combinadas no produjeron una mezcla adecuada, por lo que fue necesario incorporar un agregado de mayor tamaño, llamado arrocillo, producto de trituración para lograr una mezcla con las propiedades requeridas. Finalmente se logró una mezcla adecuada empleando 70 % de una de las arenas locales y 30 % de arrocillo transportado desde Margarita.

Las propiedades de los agregados y la mezcla se muestran más adelante.

Acciones de rehabilitación

Una vez lograda la mezcla, se realizó el proyecto final con el objeto de determinar las acciones de rehabilitación requeridas, que resultaron en:

- Tratamiento de grietas:
 - Limpieza y aplicación de mata ma-leza.
 - Sello con EA.
 - Relleno con mortero de EA-arena.
 - Bacheo estructural localizado.
- Riego de adherencia c/ Emulsión.
- Colocación de refuerzo de mezcla con EA.
 - Espesores 6 y 8 cm en 2 capas de mezcla.
- Colocación de sello superficial con le-

chada asfáltica.

La Figura 1 ilustra -esquemáticamente- los espesores de mezcla colocados como refuerzo del pavimento, los cuales como se observa se reducen -por razones de economía- hacia los bordes de la pista y en la zona no-crítica, en base al patrón de operación predominante, en función de los vientos.

La Figura 2 muestra el estado original del pavimento y las acciones preparatorias ejecutadas, en especial el sellado y relleno de grietas con EA y con mortero de EA con arena. En este aspecto se ejecutó un intenso y esmerado trabajo manual, con la finalidad de sanear grietas y áreas disgregadas, antes de colocar las capas de refuerzo de mezcla asfáltica.

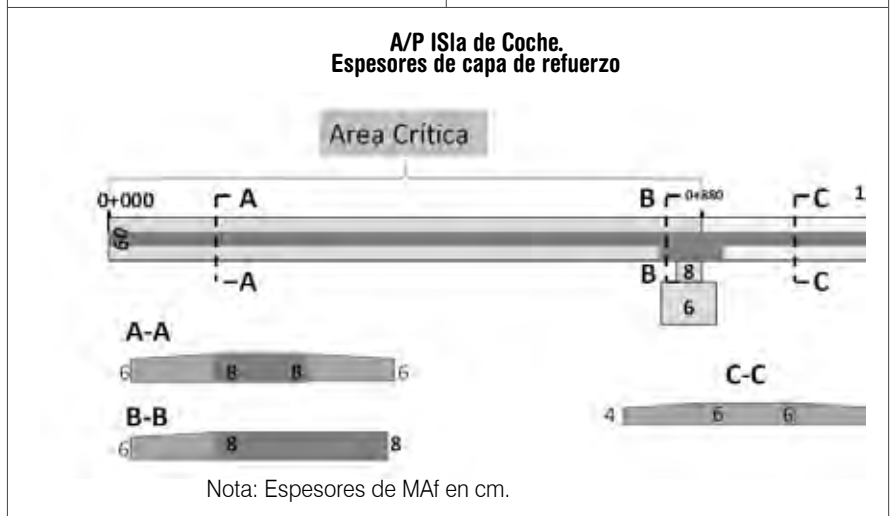


Figura 1 Esquema de espesores de refuerzo de pavimento.

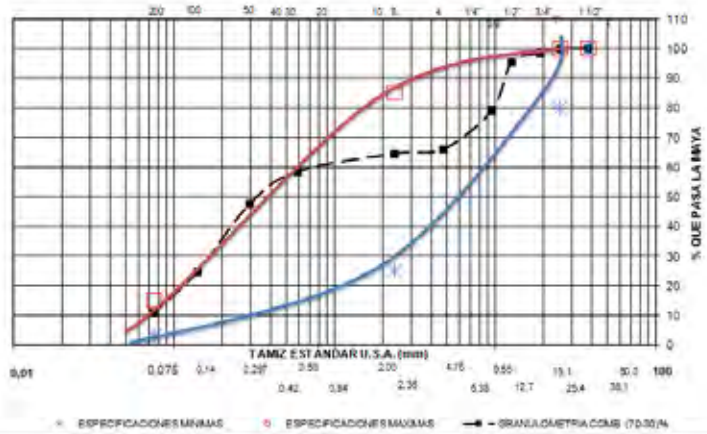


Acciones preparatorias: Sellado y relleno de grietas con EA y mortero de EA con arena.

Condición original del pavimento. Pista 09-27



Figura 2 Condición previa del pavimento y luego de tratamiento de grietas.



Granulometría de combinación de agregados: 70 % arena local / 30 % arcillo

Diseño de mezcla

El diseño de la mezcla se logró luego de varios tanteos de prueba, explorando diversas combinaciones con los agregados disponibles, empleando –en lo posible por razones de costos- la mayor proporción de agregados locales, arena de la isla.

La arena de la isla es 98 % pasante del tamiz # 8 con una fracción de 12 % pasante del tamiz # 200; por su parte el arcillo, producto de trituración de caliza, tiene un tamaño máximo de 12 mm (1/2") casi totalmente retenido en el tamiz # 4. Combinando estos 2 agregados –en una proporción 70 % arena y 30 % arcillo, se logró lo que se consideró una gradación adecuada para el diseño. Debe destacarse que los agregados eran limpios (Equivalente de Arena de 75 %) y uniformes. La combinación final se muestra en la Figura 3.

Para el diseño de la mezcla se empleó el método Marshall Modificado, obteniéndose una mezcla (Tabla1) empleando 6.5 % de asfalto residual.

Aspectos constructivos

La Figura 4 muestra el proceso de producción de la mezcla, la cual se elaboró con una planta mezcladora instalada en la obra.

DISEÑO DE MEZCLA CON EMULSION ASFALTICA

ENSAYO	RESULTADO	ESPECIFICACION
Cobertura	90 %	70 % min.
Humedad de mezclado	8,0 %	
Humedad de compactación	5,0 %	
Estabilidad Marshall a 24 hrs.	536 lbs	
Densidad Bulk Seca	2013 kg/m3	
Estabilidad Marshall Seca	1560 lbs	750 lbs min.
Estabilidad Marshall Sumergida	1399 lbs	
Perdida de Estabilidad	10,3 %	30 % max.
Cemento asfáltico Optimo	6,5 %	

Tabla 1. Resumen de propiedades de diseño de mezcla.



Figura 4. Planta mezcladora semi-portátil instalada en la obra.



Alimentación de agregados: 70% arena local, 30% agregado triturado (arrocillo) transportado

Caja de mezclado:
adición de agua y EA



Figura 5 Proceso de producción de mezcla. Alimentación y mezclado.

Las Figuras 5 y 6 ilustran aspectos de mezclado y producción de la mezcla, la cual se almacenaba a la intemperie por periodos entre 48 y 72 hrs, con la finalidad de lograr una reducción en el contenido de humedad al % indicado -en el diseño- para la compactación, 5 %.

Una vez que la humedad en la mezcla estaba cercana al % de compactación (5 % en este caso) era cargada y transportada para su extendido. Previamente se aplicaba un riego de adherencia (liga) empleando EA diluida, sobre la superficie tratada. La mezcla fue colocada- en capas de 3 y 4 cm de espesor- empleando equipos convencionales de extendido. Las Figuras 8 y 9 muestran aspectos de extendido y compactación.

La siguiente figura muestra el proceso de compactación de la mezcla: inicialmente con equipo de rodillo vibratorio y complementada con equipo de neumático. Por su parte el control de compactación, en esta etapa inicial se realizó mediante cono de arena, por cuanto la mezcla “fresca” no tiene la consistencia necesaria para la extracción de núcleos. La mezcla resultó de fácil extendido y compactación, lográndose un excelente acabado y buena densificación.



Figura 6 Proceso final de producción de mezcla.

La obra queda como muestra de ingeniería de calidad, además de amigable con el ambiente y con importante economía en comparación con otras alternativas factibles.

Como se indicó, el refuerzo total del pavimento –en el sector central de la pista– se construyó en dos capas de 4 cm cada una. Aun cuando las condiciones climáticas de la isla son muy favorables para este tipo de trabajos (altas temperaturas, abundante radiación solar, fuertes viento y muy escasa precipitación) fue necesario esperar entre 2 y 3 semanas para que la mezcla alcanzara adecuada consistencia (secado) antes de colocar la segunda capa. De igual forma, se esperó el mismo lapso antes de colocar el sello con lechada asfáltica (slurry seal) sobre la superficie terminada. Como aspecto práctico que sirve de apoyo para establecer el momento en que la mezcla tiene la consistencia adecuada para ser sellada, o sea ha secado suficientemente, por cuanto la mezcla se “endurece” a medida que pierde humedad, es la extracción de núcleos con broca rotatoria. Cuando es posible cortar y extraer un núcleo sin que la mezcla se deforme o desintegre, puede considerarse que ha adquirido una resistencia adecuada y puede ser sellada, de ser el caso. La Figura 10 muestra un aspecto general de los trabajos, específicamente –en primer plano– parte de la segunda capa y un detalle de la superficie y textura que mostraba la capa terminada. En todo caso, como se indicó, una vez que la mezcla perdió humedad y adquirió adecuada consistencia se colocó un sello de lechada asfáltica, como capa protectora.

Debido a la ausencia de materiales procesados y equipos de producción de mezclas en caliente -en la isla- lo que aunado a las dificultades de transporte hacía inviable la obra con mezclas en caliente, además de costosa, se decidió explorar la posibilidad de preparar mezcla con agregados (arenas) locales y Emulsión Asfáltica (EA).



Figura 7. Aplicación de riego sobre pavimento original, saneado.



Figura 8. Extendido de mezcla sobre pavimento original.



Figura 9. Compactación y control de la segunda capa.



Figura 10. Vista de la capa asfáltica de la pista y detalle superficial.

Consideraciones finales

Este trabajo muestra –en forma esquemática y resumida– los pasos y acciones que se adelantaron para llevar a cabo la rehabilitación estructural del aeropuerto de la isla de Coche, en el Caribe Oriental venezolano. Como se indicó la solución, empleando mezcla en frío con Emulsión Asfáltica (EA), surge como alternativa ante la dificultad y elevado costo de implementar una solución con mezcla asfáltica en caliente.

El trabajo pasó por las fases preliminares de explorar los agregados locales y elaborar diseños para lograr una mezcla con las propiedades adecuadas y requeridas para reforzar el aeropuerto.

En total se produjeron y colocaron más de 3 mil m³ de mezcla, sin que se presentaran dificultades mayores, por lo que la obra se adelantó y concluyó en un tiempo razonable, a pesar de las limitaciones de transporte de la emulsión, la cual fue producida en Puerto La Cruz y debía ser transportada –vía ferry– primero a la isla de Margarita y luego reembarcada a Coche, mientras que el 30 % del agregado pétreo se transportó desde la isla de Margarita, igual por vía marítima.

La obra queda como muestra de ingeniería de calidad, además de amigable con el ambiente y con importante economía en comparación con otras alternativas factibles.

(*) *Ingeniería AJB, Caracas, Venezuela.*
augustojugo11@gmail.com

Trabajo presentado en el XVIII CILA.



Detalle de la lechada asfáltica de sello.

Figura 11. Vista general del pavimento terminado y detalles de sello.

Referencias

- [1] INVEAS. "Especificaciones para mezcla asfáltica reciclada con Emulsión (MARE)". Caracas. 2007
- [2] Jugo, A. "Manual de Rehabilitación de Pavimentos. Acciones Básicas" FONTUR. Caracas. 2000
- [3] TAI. "MS 19 A Basic Asphalt Emulsion Manual", 1979.

Las losas de geometría optimizada TCP® son aceptadas y utilizadas para todo tipo de caminos, calles o estacionamientos.

Losas de Geometría Optimizadas TCP® de Autopistas a Caminos Básicos

JUAN PABLO COBARRUVIAS (*)

Los pavimentos de losas con geometría optimizada, y de acuerdo al Dr. Michael Darter (EEUU) en su presentación en el comité anual de la ACPA 2014, corresponden a una de las 12 innovaciones más importantes en los últimos años en el diseño de pavimentos de concreto.

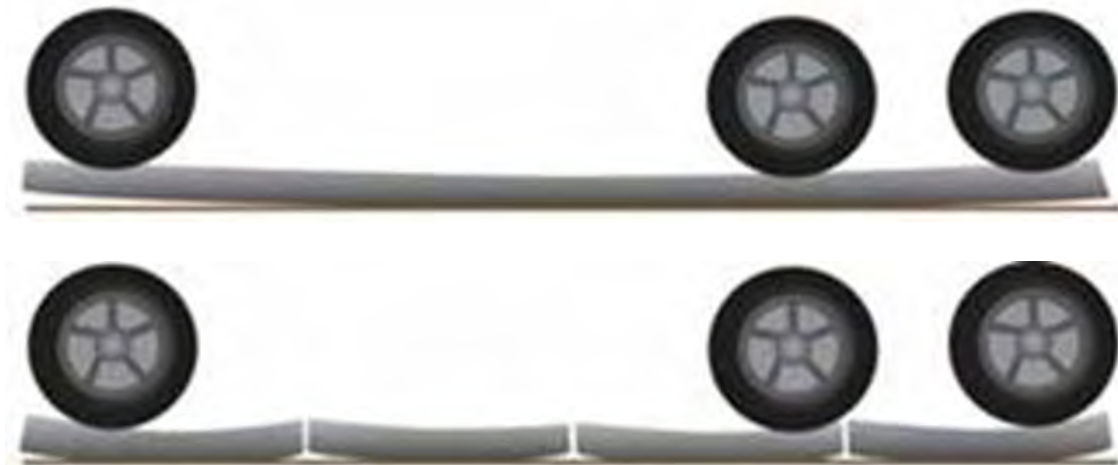
Dada la variabilidad que ha tenido el asfalto en cuanto a su desempeño y al costo que éste conlleva en temas de conservación, es que el hormigón ha entrado en los últimos años como una solución atractiva en proyectos que tradicionalmente vienen dominados por soluciones asfálticas.

Dentro de las soluciones que han generado este cambio, se encuentran los pavimentos con losas de geometría optimizada TCP®. Debido a su menor costo inicial de construcción, hoy se encuentran aceptados y están siendo utilizados por algunos ministerios y privados para todo tipo de caminos, calles o estacionamientos, ya sea para pavimentos de alto tránsito con mucha demanda de vehículos pesados, de alta montaña con condiciones desfavorables, como también en pavimentos para caminos de bajo tránsito con cargas livianas. Con el primer proyecto construido en el año 2005 (cuesta Villalobos,

Guatemala) y con más de 8.000.000 de m² construidos en distintos países, la tecnología TCP® de losas de hormigón con geometría optimizada, logra reducir el espesor de diseño de las losas de pavimento frente a soluciones tradicionales de diseño de pavimentos, generando ahorros de hasta un 20% en recursos. Esta solución está siendo aplicada en más de 10 países, como Chile, Guatemala, Perú, Bolivia y Colombia. Los pavimentos diseñados con la tecnología TCP®, necesitan baja mantención en comparación a otras alternativas de pavimentación, además, tienen un bajo impacto ambiental, ya que logran ahorros de hasta un 30% en iluminación, debido a que el hormigón es más claro que el asfalto y, por ende, necesita menos energía eléctrica para la misma intensidad de luminosidad. Al mismo tiempo, los pavimentos fabricados en hormigón absorben menos calor en comparación a los fabricados en asfalto negro, lo que aporta a la disminución del calentamiento global

al reflejar el calor incidente sobre las losas. Entre otros beneficios que se tienen implementando esta tecnología TCP® en el diseño de pavimentos, también se destaca que estos no requieren de sellos de juntas ni barras de amarre o traspaso entre losas, además, son de fácil remplazo en caso de fallas, ya que están compuestos por losas pequeñas y delgadas, lo que significa evitar en mayor medida la congestión en vías por mantención del pavimento.

Por ejemplo el desarrollo tecnológico de TCPavements, ha llevado el concepto de dimensionar losas optimizando su geometría. El principio del sistema es dimensionar las losas de tal manera que sólo exista un set de ruedas por losa distribuyendo de mejor manera la carga en el pavimento para poder evitar el agrietamiento por flexión, lo que se traduce en mejoras en la calidad, en la extensión de la vida útil de éste o en un menor espesor del pavimento, como se muestra a continuación. →



Diseño tradicional AASHTO:

Diseño TCP

Con el fin de validar, calibrar y optimizar el sistema de diseño y método constructivo, se realizó un estudio en la Universidad de Illinois en EE.UU. Además se han recopilado datos de proyectos y tramos de calibración con hasta 10 años de antigüedad.

Los resultados de estos estudios han servido para calibrar y validar el software OptiPave2®, el cual permite predecir el comportamiento del pavimento y disminuir el espesor para un tráfico dado. El software, que implementa esta tecnología, puede calcular pavimentos desde los 6 cm de espesor. Calcula daño acumulativo en las losas mediante predicción de tensiones, las cuales están basadas en redes neuronales usando Islab2000™, programa de elementos finitos especial para pavimentos, el cual utiliza algoritmos de fatiga del proyecto NCHRP 37a (AASHTO 2008). Además, trabaja con un modelo de escalonamiento por diferencial de energía en las juntas e IRI para entregar resultados. Figura 1.

Proyectos destacados

Diversos proyectos han sido ejecutados en los últimos años en Chile, en donde se destaca la prueba en Ruta 5 Talca-Chillán, KM 251

El desarrollo tecnológico de TCPavements, ha llevado el concepto de dimensionar losas optimizando su geometría. El principio del sistema es dimensionar las losas de tal manera que sólo exista un set de ruedas por losa distribuyendo de mejor manera la carga en el pavimento para poder evitar el agrietamiento por flexión (...)

dirección norte el año 2009, el cual consistió en un pavimento de 16 cm de espesor sobre un Binder asfáltico de 4 cm, en el que ya han pasado más de 15.000.000 de EE. El año 2012 se ejecutaron los dos primeros proyectos de una longitud mayor que un kilómetro. Estos fueron la Reposición Ruta M-50, Cauquenes Chanco de 17 cm de espesor, con un ahorro del 8% con respecto a la solución alternativa en asfalto, y el Mejoramiento de la Ruta 257-CH tramo 1, con 14 cm de espesor con hormigón reforzado con fibra (HRF), significando un ahorro de un 4% con respecto al proyecto original. El año

2014 se inició la construcción de dos proyectos en Chiloé, Ruta 5 Colonia Yungay – Quellón y Tara – Compu, ambos de 18 cm de espesor y de 15 y 25 km de longitud respectivamente. También se destaca la construcción de la Ruta 257 CH tramo 3, la cual tiene una longitud total de 43,5 km de 14 cm de espesor con HRF y también dos proyectos que están en construcción, Ruta 60 CH Camino la Pólvora y Camino X-730 Bahía Murta.

Caminos de alto tránsito:

En pavimentos con alto nivel de tráfico de camiones, las soluciones de hormigón tienen en general un mejor desempeño que los pavimentos de asfalto, lo que queda demostrado en diversos tramos de la Ruta 68 y 78, entre otras. Sin embargo y a pesar de esto, en los últimos 20 años prácticamente la totalidad de los tramos han sido construidos en asfalto debido a un menor costo inicial,

i) Ruta 60 Ch, Camino la Pólvora, Chile

Este camino fue abierto al tráfico el año 2008, el cual presenta en la actualidad un alto daño superficial en algunos de sus sectores. Es por esto que hoy está siendo intervenido, colocando una capa de refuerzo de hormigón con losas de geometría optimizada, donde se aprovecha la estructura existente, luego de un fresado de la superficie. El espesor es de 23 cm de hormigón con fibra, dado el alto nivel de tráfico e importancia que esta vía tiene y diseñado para 20 años.

ii) Camino a Antigua, Guatemala

Este camino, construido el año 2006, une Ciudad de Guatemala con la ciudad Antigua, está diseñado con la tecnología TCP® para 40mm de EE y tiene un espesor de 17 cm de hormigón. El pavimento está colocado en partes sobre el asfalto existente cuando éste lo permitía, y sobre una base granular en el resto. Las losas implementadas en este pavimento son de 1,75 m cuadradas y han tenido un muy buen comportamiento hasta la fecha. Figura 2.

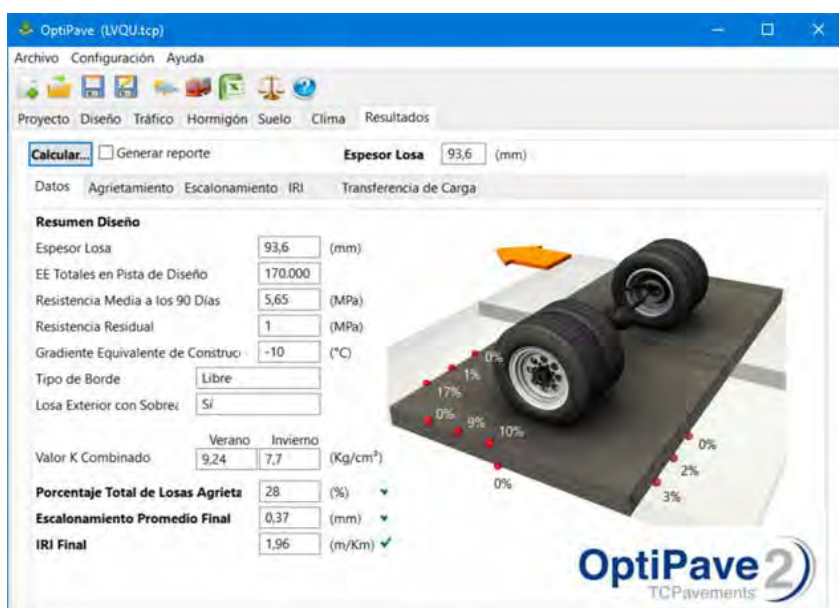


Figura 1



Figura 2

iii) Cauquenes Chanco Ruta M-50, Chile

La construcción del camino entre Cauquenes y Chanco, corresponde a una reposición con mejoras geotérmicas del camino existente. El tráfico se compone principalmente de camiones para transportar madera de alto peso. El pavimento de esta ruta está diseñado con un espesor de 17 cm para 14mm de EE en 10 años.

En este contrato se incluyeron todas las mejoras estudiadas en el tiempo, como es amarrar las bermas en curvas cerradas y realizar la losa exterior con un sobre-ancho de 25 cm. [Figura 3.](#)

Caminos de alta montaña:

Esta nueva tecnología también se ha implementado exitosamente en caminos de Alta Montaña,

Una manera de comparar esta nueva tecnología frente a otras tecnologías utilizadas en alta montaña, es modelando las tensiones máximas encontradas según el dimensionamiento de losas para distintos espesores de éstas.

demostrando resultados muy favorables en comparación a otras alternativas. Los caminos de Alta Montaña poseen comúnmente condiciones muy desfavorables, de cambios térmicos y pérdidas de humedad importantes, generando un alabeo inicial muy desfavorable. Estas condiciones se pueden modelar diseñando pavimentos con un gradiente de temperatura equivalente igual a -40°C.

Una manera de comparar esta nueva tecnología frente a otras utilizadas en alta montaña, es modelando las tensiones máximas encontradas



Figura 3



Losas de geometría optimizadas TCP®, de autopistas a caminos básicos.

→ según el dimensionamiento de losas para distintos espesores de éstas. El siguiente gráfico posee valores calculados de tensiones para tres tipos de diseño de pavimentos con las mismas solicitaciones (misma carga superior de un camión y rigidez del suelo de 7 kg/cm³). El primero, la recomendación AASHTO 93 corresponde al sistema de diseño tradicional de losas (losas de 4,5 mts), el segundo (LSC, Losas Semi-Cortas)) corresponde a un diseño intermedio de losas de 250 cm por 300 cm, y el tercero (TCP) corresponde al sistema de losas cortas, que propone losas de 175 cm de largo y ancho. [Figura 4](#).

La tecnología de losas cortas está presente en diferentes tramos de alta montaña principalmente en Chile y varios proyectos en Bolivia desde el 2007, además se están licitando la construcción de la Ruta 11 Ch, paso internacional entre Chile y Bolivia, que aparte de encontrarse en Alta Montaña, a más de 5000 msnm, también se presenta una fuerte penetración de heladas paso Cardenal Zamora en el sur de Chile.

i) Ruta 60 Ch, Cordillera de los Andes, Chile

Este tramo del proyecto se encuentra a alturas cercanas a los 3.500 msnm y está expuesto a climas muy desfavorables. [Figura 5](#). En este caso se demostró que en un mismo tramo en donde se implementó el diseño tradicional de losas, el pavimento presentó fallas al poco tiempo de ser construido, mientras que las partes de la ruta diseñadas según la nueva tecnología, permanecen

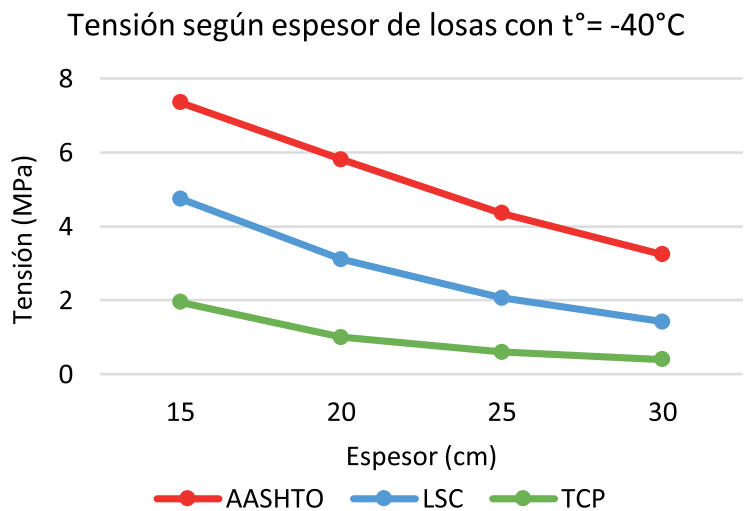


Figura 4. Este gráfico demuestra que la tecnología TCP® es la mejor alternativa en caminos de Alta Montaña.



Figura 5



Figura 6

en funcionamiento hasta el día de hoy sin presentar problemas.

ii) Ruta 11Ch, Chungará, Chile

Este proyecto que se encuentra en Alta Montaña, posee la particularidad de que la penetración de la helada es cercana a 1 m de profundidad en el suelo. Es por esto que el diseño, también considera diferentes soluciones alternativas propuestas en distintos estudios realizados en Illinois, llegando finalmente a un espesor de pavimento de 19 cm de HRF y una base considerablemente más delgada que la alternativa en asfalto.

Caminos de bajo tránsito:

La tecnología y desarrollo de estas losas cortas, permiten aplicar una solución novedosa en caminos, que son calles y caminos con tránsito bajo en vehículos pesados. Para este tipo de proyectos se están ejecutando los pavimentos ultra-delgados de hormigón con fibra, que se colocan directamente sobre el camino

La tecnología y desarrollo de TCP®, permiten aplicar una solución novedosa en caminos, que son calles y caminos con tránsito bajo en vehículos pesados. Para este tipo de proyectos se están ejecutando los pavimentos ultra-delgados de hormigón con fibra, que se colocan directamente sobre el camino granular existente.

granular existente. El principio de este sistema, es aprovechar el estado de compactación y consolidación en que se encuentra el terreno para que actúe de base del pavimento. Esto permite construir pavimentos de hormigón a un muy bajo costo, los cuales compiten en costo inicial con

tratamientos superficiales asfálticos. Dos contratos (G-84 y S-640) se encuentran ya en operación y dos proyectos están siendo ejecutados en la actualidad.

i) Camino Mahuidanche - Misión Inglesa, Chile

El año 2012 se ejecutó en la Región de la Araucanía, el primer tramo de 600 m de pavimento "ultradelgado". Este pavimento tiene un perfil trapezoidal con un espesor de 9 cm en el eje central de la calzada y 11 cm en el eje externo de la calzada.

El camino existente sobre el cual se construyó el pavimento, era una plataforma de material granular de al menos 40 cm de espesor, de mucha antigüedad. Bajo éste, la subrasante se estimaba del orden de CBR 15% promedio.

Luego de 2 años de construido, con el tráfico para el cual fue diseñado, no presenta fisuración por fatiga, asentamientos ni desplazamientos laterales, por lo que se observa funcionando de acuerdo a diseño. [Figura 6.](#)



Figura 7



Figura 8

ii) Camino Básico Intermedio G-84, Chile.

Este proyecto corresponde a la segunda instancia en la que el MOP implementara la tecnología de pavimentos “ultradelgados”. El espesor del pavimento de hormigón fue de 10 cm, el cuál fue colocado directamente sobre el camino existente, maicillo típico de la zona, que se encontraba compactado por el tráfico que había circulado históricamente. [Figura 7.](#)

iii) Camino X-730, Bahía Murta, Chile.

Este contrato está siendo construido actualmente, el cual está diseñado con una extensión de 4,4 km y espesor de 10 cm con HRF. [Figura 8.](#)

() Ingeniero y empresario chileno experto en técnicas de pavimentos de hormigón.*



TIERRA VIVA

HOTELS

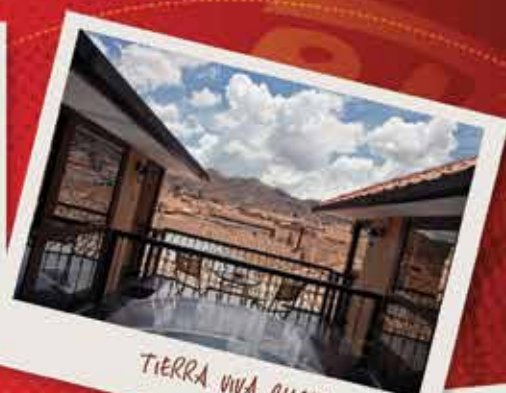
Seize your day



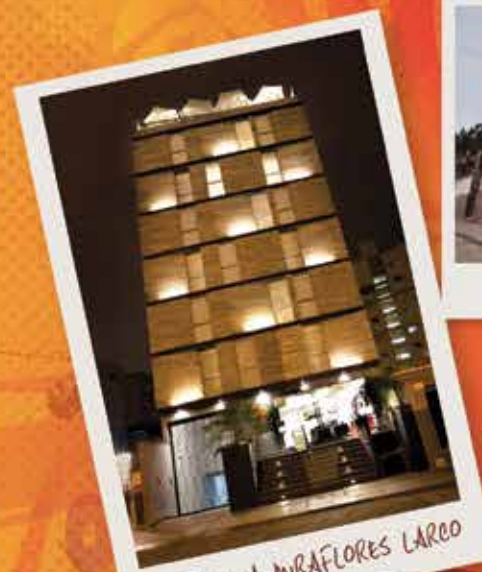
ESTAMOS EN CINCO DESTINOS DEL PERU:
LIMA, CUSCO, PUNO, AREQUIPA Y MACHU PICCHU



TIERRA VIVA CUSCO SAPHI



TIERRA VIVA CUSCO PLAZA



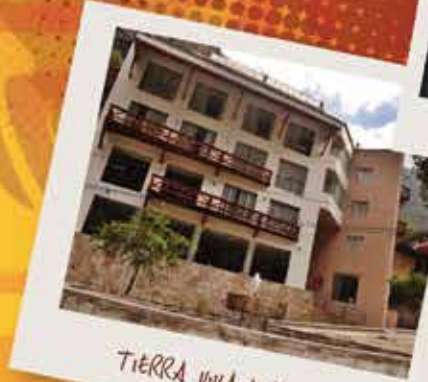
TIERRA VIVA MIRAFLORES LARCO



TIERRA VIVA PUNO PLAZA



TIERRA VIVA CUSCO CENTRO



TIERRA VIVA MACHU PICCHU



TIERRA VIVA AREQUIPA PLAZA



TIERRA VIVA CUSCO SAN BLAS

CONTRIBUIMOS A QUE TU VIAJE SE
CONVIERTA EN UNA EXPERIENCIA INOLVIDABLE

www.tierravivahoteles.com

En el transporte terrestre por carretera también existen economías de escala al considerar diversos conceptos tales como la capacidad de un camión, la capacidad de una vía o la capacidad de carga de un pavimento.

Economías de escala en pavimentos

Ing. LUCIO CÁCERES (*)

La existencia de economías de escala en la infraestructura es bien conocida. Conceptualmente las economías de escala se presentan cuando un aumento en los insumos productivos resulta en aumentos más que proporcionales en el nivel del producto.

La inversión por Mw. para generar 1 Mw. no es 150 veces menor que para generar 150 Mw. en una usina térmica, ni es lo mismo el valor de la ton.km transportada de granos a China en un barco Handy size de 40000 ton que hacerlo en un Post Panamax de 150000 ton. Estas son economías de escala de inversión y de operación.

Estas economías de escala pueden ser positivas cuando la capacidad es la adecuada para la demanda o pueden ser negativas cuando la capacidad supera en exceso a la demanda. La mejor elección siempre será la solución que optimiza el resultado dentro del campo de restricciones.

En el transporte terrestre por carretera también existen economías de escala al considerar diversos conceptos tales como la capacidad de un camión, la capacidad de una vía o la capacidad de carga de un pavimento. En los dos primeros casos son economías de escala operativas y en el tercer caso economías de escala en el costo de infraestructura.

No es lo mismo realizar 10 viajes de camión de 3 ton. de carga útil que uno en un camión de 30 toneladas, una avenida de 4 carriles para atender la congestión de un fin de semana que 4 vías para atender una congestión diaria de la hora pico y no es lo mismo un pavimento para 100.000 ejes equivalentes que para 10.000.000.

En todos los casos siempre se trata de un balance entre la inversión necesaria, los costos de operación por un lado y la demanda de la carretera por otro. Y este balance es necesario realizarlo no solamente en tiempo presente sino a lo largo de la vida útil de la infraestructura.

Desde el punto de vista de la ingeniería vial, este balance, en el caso del pavimento, se realiza por medio de las funciones que relacionan la cantidad de ejes aplicados en un pavimento durante un determinado período de vida útil del pavimento tomado como dato y la capacidad

No es lo mismo realizar 10 viajes de camión de 3 ton. de carga útil que uno en un camión de 30 toneladas, una avenida de 4 carriles para atender la congestión de un fin de semana que 4 vías para atender una congestión diaria de la hora pico y no es lo mismo un pavimento para 100.000 ejes equivalentes que para 10.000.000.

de la estructura del pavimento de soportar los esfuerzos a los que estará sometido y prestar el servicio a los usuarios con determinada calidad, y técnicamente el resultado es un diseño de pavimento que implica una determinada inversión.

El efecto de las cargas

Supongamos que consideramos como solución técnica un pavimento flexible tradicional compuesto por una capa de material granular de sub base, una de material de base y una capa de concreto asfáltico. Similares consideraciones serían válidas para otros pavimentos flexibles, semi rígidos o rígidos.

Entre las funciones que relacionan el pasaje de las cargas con la capacidad de la estructura del pavimento, la ecuación de AASHTO es una de las más conocidas y regularmente utilizada. La ecuación original de 1972 relaciona la cantidad de ejes cargados con el número estructural del pavimento para ciertas condiciones de clima y calidad de la subrasante, teniendo en cuenta que, a lo largo de la vida útil, la calidad de servicio irá disminuyendo hasta alcanzar un nivel de servicio final que no será tolerable para el usuario. En su versión de 1993 la función agrega conceptos que tienen en cuenta la variabilidad de los materiales y de las condiciones de drenaje. A efectos de este análisis trabajaremos con la versión original de 1972, que no quita validez al concepto que se quiere mostrar.

AASHTO 1993

$$\log Wt18 = (zr) * (So) + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right) / (0,4 + \left(\frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}\right) + (2,32) * (\log Mr) - 8,07$$

AASHTO 1972

$$\log Wt18 = 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \log\left(\frac{\Delta PSI}{(4,2 - 1,5)}\right) / (0,4 + \left(\frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}\right) + \log(1/R) + 0,372 * (s-3)$$



→ Si consideramos en la ecuación de 1972, que las condiciones de nuestro pavimento son tales que el coeficiente regional es 1 y que la subrasante tiene un valor soporte de AASHTO de $s=3,53$ ($CBR=3$) y que el nivel de servicio final tolerable corresponde a un $pt=1,5$ ($\Delta PSI=2,7$), la fórmula simplificada resulta en la siguiente:

$$\log Wt18 = 9,36 \log(SN + 1)$$

Es decir que para una variación importante del número de ejes equivalentes de 18000 lb ($Wt18$), el aumento del número estructural SN del pavimento es pequeño o a la inversa, que pequeñas variaciones en el número estructural resultan en aumentos muy significativos de la cantidad admisible de ejes equivalentes como se muestra

en la [Tabla 1](#) y que muestra la economía de escala en el caso de los pavimentos. Este es uno de los aspectos del balance entre el paquete estructural, directamente relacionado con la inversión y la demanda de la carretera relacionada directamente con los ejes pesados que circulan sobre la misma y resulta claro que para un nivel de $SN=3$, un 10% de aumento del paquete estructural redundará en un 210 por ciento en la cantidad de ejes equivalentes admisibles, o que un 33% de incremento en el aporte estructural representa un au-

mento de un 1659% en la cantidad de ejes admisibles, o a la inversa si un pavimento requiere un $SN=4,4$ y se reduce a un $SN=3,3$ es decir en un 25%, la cantidad de ejes admisibles se reduce a la octava parte. Si lo medimos en tiempo de duración del pavimento con el nivel de servicio superior al $PSI=1,5$, si la vida prevista era de 20 años, la vida real será de 2,5 años. Suponemos que los precios de los distintos materiales son los de la [tabla 2](#), que son precios de mercado en varios países de América.

Tabla 1. Número estructural y ejes equivalentes admisibles.

SN	N (EE 18kips)
3	431800
3,3	906830
4	3486260
4,4	7164825



Tabla 2. Precios de capas de pavimento.

	Precio US\$ /m3	Precio/cm de capa/m2
Concreto asfáltico	330	3,30
Base granular	40	0,4
Sub base granular	20	0,2

Supongamos que el pavimento requiere un número estructural SN=4,4 que se compone de 30 cm de sub base de aporte estructural de $a_3 = 0,043/\text{cm}$. y una base

de 15 cm. de aporte de $a_2 = 0,055/\text{cm}$. y de una capa de 15 cm de concreto asfáltico de aporte $a_1 = 0,173/\text{cm}$. Aplicando estos valores a la [Tabla 3](#) y

considerando que los espesores de sub bases y bases se mantiene constante y que lo que varía es el espesor de la capa asfáltica resulta que el “ahorro marginal” en la inversión por pasar de un pavimento capaz de soportar 7164825 ejes equivalentes de 18 kips. con una inversión de US\$ 60/m² a un pavimento de SN=4, capaz de soportar 3486260 ejes equivalentes de 18 kips es de US\$ 8/m². O sea una reducción de vida a la mitad para una reducción de inversión del 13,75%.

Tabla 3. Número estructural, ejes equivalentes admisibles e inversión

SN	Numero de EE 18 kips admisibles	Espesor Concreto asfáltico	Inversión US\$/m ²	Ahorro marginal US\$/m ²	Ahorro porcentual	Vida útil hasta Pt=1,5 años
3	431800	7	34	26	44,00	1,2
3,3	906830	9	40	20	33,00	2,5
4	3486260	12,5	52	8	13,75	9,7
4,4	7164825	15	60			20

→ Esta situación es la que se genera cuando el administrador de carreteras que cuenta con recursos escasos presiona al técnico para que reduzca el espesor de la estructura de pavimento, con el argumento que con el presupuesto disponible tiene que atender mayor longitud de carreteras y que por ende no puede especificar lo que la técnica recomienda.

Una razón entendible desde el punto de vista político, pero que no es indiferente, ni económica ni políticamente, dado que la falla del pavimento se producirá en forma anticipada cuando se agoten los ejes equivalentes admisibles y la carretera que había de vivir 20 años resulta que experimenta falla al cabo de una cantidad menor de años, tanto menor cuánto más sea la voluntad del administrador de ahorrar

La relación entre el costo de operación y un diseño marginal de pavimento estará dada por la curva de deterioro, que marcará un incremento del costo con el mal estado superficial del pavimento (un mayor IRI) y esto a su vez redundará en una menor velocidad y esto redundará en un mayor tiempo.

para atender en el corto plazo mayor cantidad de km.

Para superar esta situación el ingeniero, presionado por la autoridad, acepta la reducción de espesores y compensa la misma con la aclaración que al cabo de un cierto período se realizará un refuerzo del pavimento para completar el espesor de pavimento requerido, refuerzo que lo más probable es que nunca llegue.

Veamos ahora las consecuencias sobre el costo de infraestructura que resulta de estas decisiones de recorte de las estructuras de pavimento.

La respuesta a la pregunta de cuánto es el costo de infraestructura de pavimento para las distintas alternativas de estructura necesaria y estructura recortada se muestran en la [tabla 4](#).

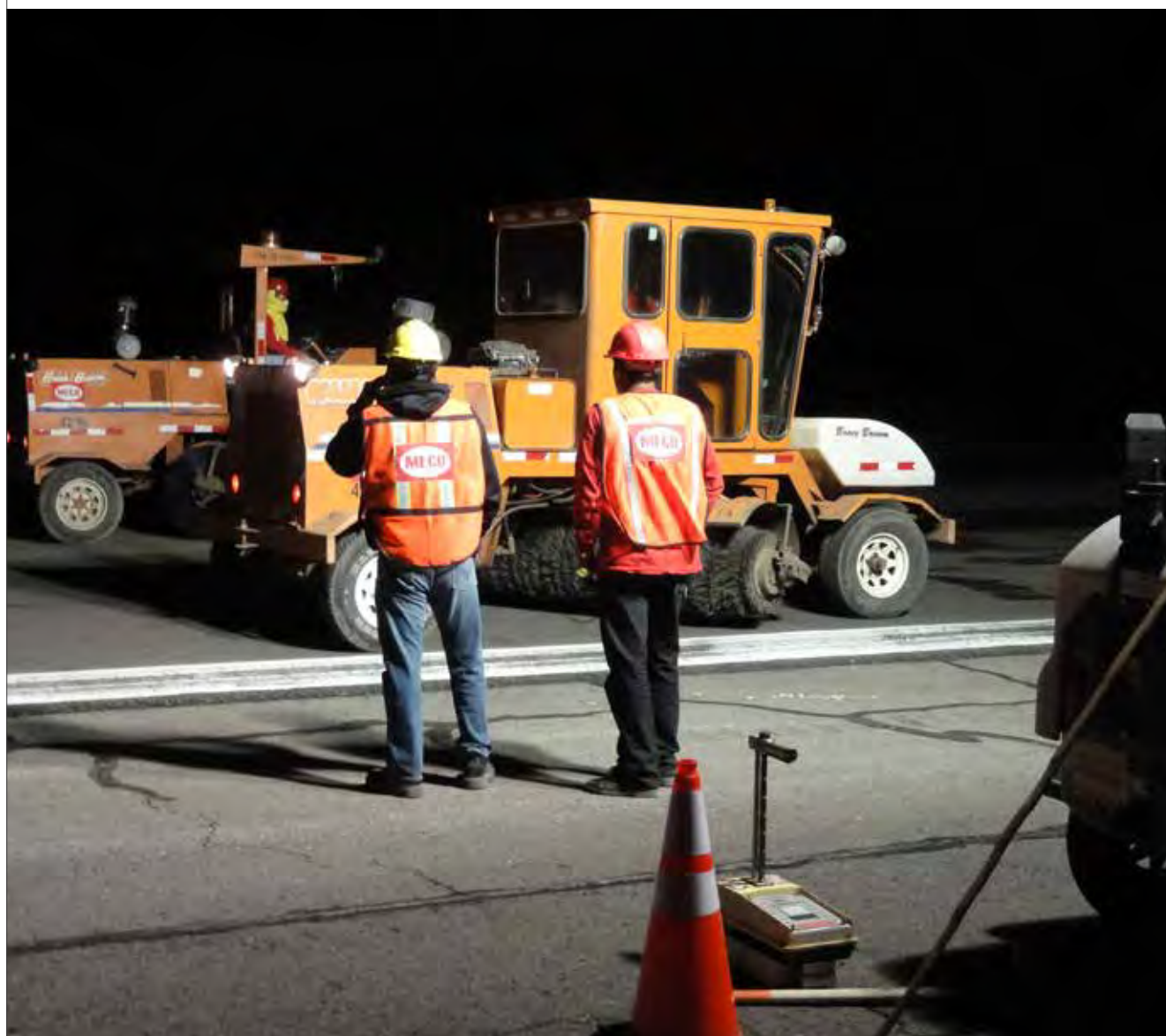


Tabla 4. Costo de infraestructura y costo unitario de infraestructura.

SN	Wt18	Precio/m2	Precio US\$ /km Ancho= 7,20m	Precio por eje de 18 kips USD/eje 18kips/km	Costo por carga paga USD/kip/km	Costo por carga paga USD/tn/km
3	431799	33,6	241920	0,56	0,040	0,088
3,33	906832	40,2	289440	0,32	0,023	0,050
4	3486256	51,75	372600	0,11	0,008	0,017
4,4	7164825	60	432000	0,06	0,004	0,009

Los resultados muestran claramente que el presunto ahorro “se transforma en un aumento del costo de infraestructura en un factor de 2 para una reducción de un 10% del SN y de 10 para una reducción del SN de 1,4. Y es de destacar que estos recortes de diseño estructural no son situaciones que escapen a situaciones habituales. La reducción de SN=4,4 a 4 es una reducción de 2,5 cm de espesor y la de pasar a un SN= 3 corresponde a un decisor que haya presionado para que se reduzca en 8 cm el espesor de 15 cm de capa de concreto asfáltico y se lleve el espesor de mezcla al mínimo.

Por tanto, la presunta ventaja de un diseño marginal de corta duración en aras de cubrir mayor longitud de red con obras, es un pésimo negocio desde el punto de vista económico del costo de infraestructura y que la decisión política de hacer inversiones precarias para poder cubrir mayores longitudes, no es gratuita para la sociedad. Solo puede entenderse en una visión de corto plazo en que importa lo que se muestra de obra realizada más que lo que dura la obra realizada y lo que le cuesta a la sociedad. No menos cierto es que este tipo de economía de escala, no es de conocimiento de los tomadores de decisión y es responsabilidad de los técnicos alertar el riesgo y el costo asociado a una decisión de recorte de estructura.

El costo de amortización que surge de dividir la inversión entre los años de vida útil, para el caso de un SN=4,4 arroja un costo anual de US\$ 21600 en tanto que para el caso de SN=3 arroja un costo de amortización anual de US\$ 201600.

El costo del usuario

Los efectos de este tipo de decisión política, no se limitan al efecto sobre el costo de infraestructura, sino que tiene repercusiones diversas.

En primer lugar, la inversión recortada, que se deteriorará con mayor velocidad, tiene como efecto correlativo el aumento de los costos de los usuarios, compuesto por el costo de operación de los vehículos y el costo de tiempo.

La relación entre el costo de operación y un diseño marginal de pavimento estará dada por la curva de deterioro, que marcará un incremento del costo con el mal estado superficial del pavimento (un mayor IRI) y esto a su vez redundará en una menor velocidad y esto redundará en un mayor tiempo.

El deterioro se traduce en mayores costos de operación, (en combustible, cubiertas, mantenimiento, vida útil del vehículo), en tanto que la menor velocidad redundará en mayor tiempo que el usuario tendrá que emplear para circular (costo por uso alternativo del tiempo) y menor productividad del capital (inversión, depreciación,

intereses, etc.) y de los costos comerciales (chofer, matrícula, seguros, tiempo de entrega, etc.)

El costo de operación puede estimarse con alguno de los modelos desarrollados a estos efectos, como el caso del VOC-HDM (vehicle operating cost del modelo HDM del Banco Mundial).

En este caso hemos utilizado la siguiente tabla que permite una simplificación en la estimación de los costos del usuario para distintos niveles de servicio del pavimento. Los costos de operación de la línea de base (condición inicial del pavimento de IRI=1,2) según la referencia se resumen en la [tabla 5](#).

Los costos de operación corresponden a costos en USA, lo que se corresponde en los costos para muchos países de América Latina. Estos costos aumentan con el deterioro del pavimento de acuerdo a la [tabla 6](#).

Tabla 5. Costos de operación de automóviles y camiones.

SN	Automóviles	Camiones
Costos de operación Línea de base US\$/km	0,1900	0,5391

The Per-mile Costs of Operating Automobiles and Trucks, Minn. D.O.T, 2003

Tabla 6. Variación del costo del usuario según la condición del pavimento.

PSI	IRI (plg/km)	IRI (m/km)	Multiplicador de costo
2.0 o menor	170	2,7	1,25
2,5	140	2,2	1,15
3	105	1,7	1,05
3,5 o mayor	80	1,2	1

The Per-mile Costs of Operating Automobiles and Trucks, Minn. D.O.T, 2003.

→ En el caso que ejemplificamos para la reducción de los espesores de pavimentos, el nivel de servicio del pavimento reducido en relación al pavimento sin reducción sería de acuerdo a la **tabla 7** y resultaría en coeficientes de mayoración del costo según lo indicado en la misma.

En definitiva, los costos del usuario se magnifican en una cantidad tanto mayor cuanto mayor sea el tiempo en que se demore en realizar una nueva actuación sobre el pavimento que le permita recuperar un adecuado nivel de servicio..

Si consideramos que la composición del tránsito es de 70% de vehículos livianos y 30% de vehículos pesados y que el camión representativo es el C1-2 (hipótesis representativa de las rutas nacionales) y que el 50% de los camiones están cargados con la carga legal, sin tasa de crecimiento, en el primer año, los ejes equivalentes traducidos a camiones cargados, camiones totales y automóviles son los de la **tabla 8**.

Aplicando a estas cantidades de vehículos los costos de operación anuales para los dos primeros años en el nivel de la línea de base y en los niveles mayorados por deterioro acelerado se obtiene la **tabla 9**.

Como puede verse en la tabla, el “ahorro” de US\$ 190.080 en la inversión se supera al cabo de 2 años por mayores costos de operación que alcanzan a US\$ 281.557. Por tanto, ni siquiera en el corto plazo se obtiene una solución que colabore con los objetivos políticos de una administración pública.

(...) la presunta ventaja de un diseño marginal de corta duración en aras de cubrir mayor longitud de red con obras, es un pésimo negocio desde el punto de vista económico del costo de infraestructura y que la decisión política de hacer inversiones precarias para poder cubrir mayores longitudes, no es gratuita para la sociedad.

También resulta de interés analizar la importancia relativa del costo operativo de autos y camiones en relación al costo anual de amortización de la infraestructura para verificar que el costo operativo anual, que totaliza para el ejemplo considerado US\$ 761831/año, es del orden de 35 veces superior al costo de amortización de la infraestructura (cuando no resulta recordada) y que en el ejemplo asciende a US\$ 21600/año.

En este caso no hemos considerado el costo de tiempo que sería necesario sumar al costo operativo para obtener el costo del usuario. Su consideración, lo

único que aportaría sería hacer más dramática aún la situación proveniente de la reducción de los paquetes estructurales. Tampoco hemos considerado los efectos del aumento de la carga transportada por encima de la carga legal, como forma de mejorar el resultado del flete, cuando los costos aumentan como resultado de un pavimento en pobres condiciones.

Costo generalizado anual del transporte

El costo generalizado del transporte es la suma del costo de infraestructura más el costo del usuario, por lo cual el perjuicio sobre la sociedad cuando se toma una

Tabla 7. Mayoración del costo de operación por deterioro del nivel de servicio

Año	1	2	3
PSI Sin recorte SN=4,4	4,2	4,2	4,2
PSI Con recorte SN=3	2,5	1,5	x
Coefficiente. mayoración	1,15	1,25	x

Tabla 8. Cantidad de vehículos anuales.

	Ejes equivalentes 18 kips	Camiones cargados por senda	Total camiones cargados	Total Camiones	Automóviles
Numero/año	358240	179120	358240	716480	1671787

Tabla 9. Costos operativos marginales por deterioro acelerado.

	Año 1	Año 2	Anos 1 + 2
C. Operativos LB Autos US\$/km/año	317639	317639	635279
C. Operativo mayorado Autos US\$/km/año	365285	397049	762334
Diferencia autos US\$/km/año	47645	79409	127055
C. Operativo LB Camiones US\$/km/año	386254	386254	772508
C. Operativo mayorado Camiones USD/km/año	444192	482817	927010
Diferencia camiones US\$/km/año	57938	96563	154501
Total costo marginal adicional US\$/km/año	105584	175973	281557



decisión política de reducir lo que técnicamente corresponde, es por partida doble. En la **tabla 10** siguiente se puede ver la magnitud en que aumenta el costo general del transporte para el caso que hemos ejemplificado. En el caso del costo del usuario, a diferencia de lo que vimos en el costo de infraestructura, el mayor costo es un costo privado y no es un costo público ni de la agencia vial. Por tanto, es un costo que no lo sufre el Estado y que frecuentemente omite en sus evaluaciones.

Pero este mayor costo de operación, presionará sobre el precio de venta del flete y éste sobre la competitividad de la producción.

Conclusiones

Con las consideraciones que anteceden, se estima que queda más que claro que:

- 1) es imprescindible diseñar lo que surge de los métodos de diseño y aplicarlos correctamente.
- 2) que una política adecuada de pavimentos y económicamente sustentable se basa en hacer pavimentos de alta duración y

evitar los pavimentos de corta duración.

- 3) que en materia de pavimentos, las economías de escala o deseconomías de escala son muy relevantes y conducen a costos de amortización de la agencia vial muy elevados y estos no son transferibles al precio del flete.
- 4) Que todavía mayor es el aumento del costo del usuario y éste, si bien no es un costo del Estado, es un costo de la sociedad que afecta la competitividad.
- 5) Que es necesario realizar una ilustración de los tomadores de decisiones viales sobre la importancia de considerar las economías de escala y que más vale que se hagan pocos km de pavimento que duren, que mayor cantidad que tengan rápido deterioro.
- 6) Que a veces es importante mirar a conceptos muy conocidos de la técnica vial para sacar conclusiones, que pueden ser obvias para el técnico vial, pero que son desconocidas para el usuario, el transportista y las autoridades no técnicas.

Tabla 10. Costo anual generalizado del transporte.

	Año 1 US\$/km/año	Año 2 (hasta mes 2,4) USD/km
Amortización SN=4,4 N=20años	21600	4320
Amortización SN=3 N=1,2 años	201600	40320
Costo marginal operación	105584	22953
Mayor Costo para el Estado	180000	36000
Mayor Costo para el Usuario	105584	22953
Mayor Costo para la Sociedad	285584	58953

(**) LUCARA SA, Aquiles Lanza 1147,
Montevideo-Uruguay, lucabe49@gmail.com



Capeseal: primeras experiencias en Uruguay

SANTIAGO KRÖGER (*)

La técnica del Capeseal, una combinación de un tratamiento superficial simple con un microaglomerado en frío, ha sido desarrollada por los sudafricanos hace décadas, pero recién en los últimos años ha llegado a nuestra región.

Es una tecnología que combina las ventajas de ambos tipos de tratamientos de forma sinérgica, impermeabilizando la calzada, evitando el reflejo prematuro de fisuras y dando un acabado homogéneo similar a la carpeta asfáltica sin incurrir en elevados costos como ésta última.

Debido a estas ventajas, se optó por esta solución combinada en las calles de la ciudad de Las Piedras en el departamento de Canelones.

La ejecución del Capeseal se realizó sobre una base granular imprimada. El tratamiento superficial simple se realizó con un equipo sincronizado de riego de ligante y esparcido de piedra y el microaglomerado en frío se realizó con un equipo autopulsado.

¿Qué es un Capeseal? Es la aplicación de una lechada asfáltica o un microaglomerado en frío sobre un tratamiento bituminoso simple en el cual los primeros rellenan los huecos del tratamiento bituminoso como muestra la **Figura 1** en dos posibles soluciones, con gravilla expuesta (CASO 1) o no (CASO 2).

El tratamiento bituminoso actúa como membrana aliviadora de tensiones mientras que el microaglomerado ayuda a la retención de los áridos del tratamiento y da una superficie lisa, densa y homogénea con excelente fricción y bajo ruido.

Debido a su estructura, el mismo trabaja en conjunto sinergizando las ventajas de cada tratamiento. Por la misma razón deben coordinarse muy bien los trabajos entre los ejecutores de cada una de las técnicas, sobretodo en las dosificaciones. Es objeto de este trabajo, como primera experiencia, establecer los lineamientos utilizados y que sirvan de referencia para futuras obras.

Breve historia

La técnica Capeseal tiene sus orígenes en Sudáfrica en Ciudad del Cabo (Cape Town

en inglés) que le confirió el nombre a la misma. Comenzó como la aplicación de una mezcla en caliente muy fina sobre un tratamiento bituminoso simple de 19 mm. La primera especificación al respecto data de 1950.

Para 1957 ya se habían incorporado las lechadas bituminosas como capa superior tal como la conocemos hoy. En la actualidad en Sudáfrica es la técnica de construcción y mantenimiento más empleada y se usa en vías tanto de primer orden como en caminos rurales.

La técnica fue expandiéndose por el mundo, llegando en los 60' a Australia. Al comienzo sólo para la construcción de nuevos caminos y en la actualidad en mantenimientos también.

Para mediados de los 70' llega a Estados Unidos como una transferencia de tecnología entre ambos países. (1)

Esta técnica comienza a aplicarse en Chile durante la década del 90' con éxito y se consolida con la creación del Programa Caminos Básicos en el 2003, construyéndose más de 120 km en los años posteriores. (3)

En Uruguay recién en el 2014 se realiza la primera prueba pero aparece como una técnica prominente debido a la vasta experiencia que hay en el país en el uso de técnicas en frío. A principios de 2015 salió la primera licitación por 20 km de esta técnica en el norte del país.

Características

Como mencionamos anteriormente, el Capeseal es la combinación de un tratamiento bituminoso simple con una lechada asfáltica o microaglomerado en frío, por lo que podemos describir el procedimiento constructivo de la siguiente manera:

- a. preparación de la superficie (barrido, sellado, etc.).
- b. aplicación del tratamiento bituminoso, o sea riego de la emulsión asfáltica seguido del esparcido de la piedra seleccionada y posterior compactación.
- c. barrido de la superficie una vez curado el tratamiento (entre 2 y 7 días).
- d. aplicación de la lechada/microaglomerado en frío.
- e. compactación con neumático (en caso de ser necesario).

Dentro de las ventajas de esta técnica podemos destacar su impermeabilidad. En un estudio realizado sobre diferentes tratamientos superficiales y mezclas finas en caliente, la técnica que tuvo el menor valor de permeabilidad fue el Capeseal (1).

En cuanto a la rehabilitación de pavimentos, el Capeseal llena la brecha existente entre los tratamientos superficiales en general y la mezcla asfáltica en caliente. En varios países se considera como una alternativa firme respecto a un recapado con mezcla en caliente (1).

Figura 1: Estructura de un Capeseal (2)



→ Si está bien ejecutado es de esperar que no sea necesario resellarlo por un largo período de tiempo manteniendo sus características de elevada fricción. En Sudáfrica los registros recientes muestran que varias carreteras con unos 500 vehículos por día (con 30% de pesados) no han sido intervenidas luego de entre 7 y 10 años (1). La vida en servicio de la técnica se estima en unos 10 años, comparable con una mezcla asfáltica en caliente en 5 cm siendo el costo un 35% menor. Las fallas típicas de esta técnica son las exudaciones y desprendimientos aunque puede haber ahuellamiento y fisuras.

Usos

Se utiliza, como hemos mencionado en la historia de la técnica, tanto para la construcción de nuevos pavimentos como para la rehabilitación de los ya existentes. En la construcción de nuevos pavimentos, se utiliza mucho en barrios residenciales ya que complementa la impermeabilidad y durabilidad con un aspecto similar a la carpeta asfáltica, a una fracción del costo de ésta. En caso de rehabilitación de pavimentos, los mismos deben estar en buena condición estructural con moderado daño superficial, por lo general donde ya no se podría aplicar una lechada o microaglomerado por ejemplo. Sella muy bien las fisuras y evita los desprendimientos aumentando sustancialmente la vida útil del pavimento. Es ideal para la restauración de propiedades superficiales como rugosidad, homogeneidad en textura y color o para la retención de áridos.

Existen experiencias en las que se ha usado sobre superficies exudadas, disminuyendo la dosificación de asfalto en el tratamiento bituminoso y dejando los huecos suficientes para la expansión del asfalto superficial. Luego se termina de trabar la estructura con un microaglomerado de moderado contenido de asfalto, pero suficiente para retener los áridos del tratamiento.

Comparativo

En la **Tabla 1** se presenta un cuadro comparativo que resume las ventajas y desventajas de cada tipo de técnica y los posibles usos frente a los defectos encontrados en la rehabilitación de pavimentos.

Objetivo del trabajo

Detallar las especificaciones de los materiales utilizados, las dosificaciones y las

mejores prácticas constructivas encontradas para Uruguay en la primera experiencia realizada que muestra la calidad y versatilidad del Capeseal como tratamiento superficial combinado.

Desarrollo del trabajo

La primera experiencia de un Capeseal, concebido como tal, se enmarcó en la consolidación de un barrio de la ciudad de Las Piedras, en Canelones.

El mismo consistió en la construcción de cordón cuneta con una base granular y posterior tratamiento superficial. Se realizaron numerosos tratamientos diferentes, como tratamientos bituminosos simples, dobles, carpeta asfáltica y también unos 20.000 m² de Capeseal.

Descripción general

Luego de construido el cordón cuneta, se conformó la base granular hasta un par de centímetros por debajo del cordón.

Se barrió la superficie y se imprimó con emulsión asfáltica de Imprimación. Luego se realizó el tratamiento bituminoso con emulsión catiónica rápida modificada con polímero SBR y piedra 14-20 mm. Luego de curado, se barrió y se ejecutó el microaglomerado en frío Tipo II con un tamaño máximo de 6 mm y emulsión catiónica de corte controlado modificada con polímero SBR.

Materiales principales

Emulsión catiónica rápida modificada.- La emulsión utilizada para el tratamiento bituminoso cumple con un tipo CRR-1m de la norma IRAM 6698 como muestra la **Tabla 2**. Árido 14-20 mm.- Para el tratamiento bituminoso se eligió una piedra granítica lavada y clasificada entre 14-20 mm con las características detalladas en la **Tabla 3**. Emulsión catiónica modificada de corte controlado.- La emulsión utilizada para el microaglomerado en frío cumple con una

Tabla 1. Comparativo de técnicas.

Técnica	Usos	Ventajas	Desventajas
Tratamiento bituminoso	Fisuras moderadas, desprendimientos, exudaciones y pérdida de rugosidad	•Bajo costo •Velocidad •Ejecución •Impermeabilidad	•No aportan capacidad estructural •No corrigen deformaciones
Microaglomerado en frío	Fisuras leves, exudaciones, pérdida de rugosidad y relleno de huellas	•Superficie lisa y homogénea •Retención de áridos	•No sirve para pavimentos muy dañados
Capeseal	Fisuras leves a moderadas, desprendimientos, exudaciones y pérdida de rugosidad	•Superficie lisa y homogénea •Retención de áridos •Impermeabilidad	•Costo •Velocidad de ejecución

Tabla 2. Especificación requerida para la emulsión CRR-1m.

Ensayo	Unidad	Mín	Máx	Norma
Residuo asfáltico	%	65	-	ASTM D 244
Viscosidad saybolt-furol (25°C)	s	30	-	
Tamiz (850 µm)	%	-	0,1	
Estabilidad al almacenaje (24 hs)	%	-	1	
Ensayos sobre el residuo:				
Penetración (aguja 100g, 25°C, 5s)	dmm	80	120	ASTM D 5
Recuperación torsional elástica (25°C)	%	25	-	ASTM D 6084

Tabla 3. Valores obtenidos para la piedra 14-20 mm.

Ensayo	Unidad	Valor	Norma
Desgaste Los Angeles (grad. B)	%	13,6	UY-A-23-89
Pasa tamiz N°200 por lavado	%	0,1	UY-A-17-89
Índice de chatura	-	0,38	UY-A-21-89
Granulometría	Tamiz	% pasa	UY-A-15-89
	1"	100,0	
	¾"	87,8	
	½"	16,4	
	3/8"	0,9	
	¼"	0,3	
	Pasa ¼"	0,0	

tipo CRC-m de la norma IRAM 6698 como muestra la **Tabla 4**.

Polvo de piedra.- Para el microaglomerado en frío se usó un polvo de piedra granítica 0-6 mm proveniente de trituración con las características detalladas en la **Tabla 5**.

Además este material se cuarteó por una malla de 8 mm para asegurar que no estuviese contaminada con piedras de mayor tamaño y generar defectos superficiales por arrastre.

La granulometría del polvo se eligió en

base a las recomendaciones incluidas en las principales normas internacionales que existen sobre esta materia, como son la IRAM 6833:1998, ASTM D 3910-96 y la ISSA a143. Dadas las características del árido utilizado no se requirió incorporación de filler.

Tabla 4. Especificación requerida para la emulsión CRC-m.

Ensayo	Unidad	Mín	Máx	Norma
Residuo asfáltico	%	62	-	ASTM D 244
Viscosidad saybolt-furol (25°C)	s	-	50	
Tamiz (850 μm)	%	-	0,1	
Estabilidad al almacenaje (7 días)	%	-	5	
Ensayos sobre el residuo:				
Penetración (aguja 100g, 25°C, 5s)	dmm	80	120	ASTM D 5
Recuperación torsional elástica (25°C)	%	25	-	ASTM D 6084
Anillo y bola	°C	48	-	ASTM D 36

Tabla 5. Valores obtenidos para el polvo de cantera.

Ensayo	Unidad	Valor	Norma
Desgaste Los Angeles	%	< 30	UY-A-23-89
Equivalente de Arena	%	78	UY-S-29-89
Granulometría	Tamiz	% pasa	UY-A-15-89
	¾"	100,0	
	½"	100,0	
	3/8"	100,0	
	#4	99,1	
	#8	69,8	
	#16	47,8	
	#30	36,1	
	#50	27,3	
	#100	19,0	
	#200	13,7	

Tabla 6. Dosificaciones empleadas en el Capeseal.

Tipo	Material	Unidad	Cantidad
Tratamiento bituminoso	Emulsión CRR-1m	L/m ²	1,2
	Árido 14-20 mm	L/m ²	10
Microaglomerado	TIPO II	Kg/m ²	15

Tabla 7. Resultados para tres contenidos de asfalto residual.

Contenido de asfalto residual (%)	WTAT (g/m ²)	LWT (g/m ²)
6,5	260	-
7,5	149	389
9,0	255	518

Tabla 8. Fórmulade microaglomerado TIPO II.

Requisito	Unidad	Valor	Mín	Máx
Asfalto residual (% sobre árido)	%	7,5	6,5	9,0
Agua de amasado (% sobre árido, incluye emulsión)	%	14,6	10	15
Emulsión CRC-m (% sobre árido)	%	12,1	10,5	14,5

Dosificación

Los componentes se dosificaron según lo indicado en la bibliografía para el tipo de piedra utilizada, la base granular y el tipo de microaglomerado en frío.

Los valores empleados se muestran en la **Tabla 6**.

Microaglomerado TIPO II.- En cuanto a la dosificación del microaglomerado, una vez elegidos los agregados y la granulometría, el contenido de asfalto residual de diseño se define por los ensayos de pérdida por abrasión (Wet Track Abrasion Test o WTAT) y de absorción de arena por rueda cargada (Loaded Wheel Test o LWT).

El ensayo de WTAT permite definir el contenido mínimo de residuo asfáltico para minimizar la posibilidad de desprendimiento y asegurar una durabilidad aceptable. La ISSA TB 100 define un máximo de pérdida por abrasión de 538 gr/m², mientras que la exigencia de MTOP es de 400 gr/m².

El ensayo de LWT permite definir el contenido máximo de residuo asfáltico para minimizar el riesgo de exudación. La ISSA TB 109 define un máximo de pérdida por abrasión de 538 gr/m², mientras que la exigencia de MTOP es de 800 gr/m².

Con estos dos ensayos se define intervalo donde se debe mover el contenido de asfalto del microaglomerado para lograr buena performance en ambas situaciones.

Con estas condiciones se realizan mezclas con distintos contenidos de asfalto residual, para luego analizar los resultados y escoger el contenido de asfalto más conveniente en función de maximizar la durabilidad sin tener el riesgo potencial de la exudación.

En la **Tabla 7** se presentan los resultados obtenidos con 3 contenidos de asfalto residual diferentes:

Se toma el valor de 7,5% de asfalto residual como óptimo ya que cumple ambos requisitos.

En la **Tabla 8** se muestran la fórmula empleada en obra junto con los rangos de la especificación.



Figura 2: Doble esparcidora aplicando el tratamiento bituminoso.

→ 1.1 Equipos principales

1.1.1 Doble esparcidora

Para el tratamiento bituminoso se utilizó una doble esparcidora que riega la emulsión e inmediatamente después distribuye el árido seleccionado. Ambos componentes son dosificados exactamente por el equipo según el ancho de trabajo y velocidad de desplazamiento.

Las ventajas del uso de este tipo de equipos son:

- Alta precisión en el riego del ligante y el tendido de la gravilla.
- Alto rendimiento de ejecución.
- Economiza ligante, gravilla y mano de obra.
- Asegura la adherencia a la piedra debido al inmediato contacto.

1.1.2 Planta autopropulsada de microaglomerado en frío

Para el microaglomerado en frío se utilizó una planta autopropulsada que dosifica los componentes del microaglomerado (polvo de piedra, agua, cemento Portland, emulsión y aditivo) en un mezclador de paletas, de doble eje, hasta lograr la homogeneidad requerida y luego lo vuelca en una bandeja distribuidora con una ras-



Figura 3: Espesor del microaglomerado en frío.

tra de goma y una malla texturizadora para dar la terminación al trabajo.

Los automatismos del equipo permiten replicar en obra la formulación diseñada en laboratorio logrando homogeneidad del producto y una excelente terminación.

Procedimiento constructivo

Preparación de la superficie.- La preparación consistió en el barrido de la base granular y una imprimación con emulsión asfáltica de Imprimación a razón de 1L/m².

Aplicación del tratamiento bituminoso.- Se aplicó un tratamiento bituminoso simple mediante la doble esparcidora con las dosificaciones mencionadas anteriormente como muestra la **Figura 2**.

El mismo se compactó mediante un rodillo liso y un neumático para acomodar la piedra. Se liberó al tránsito durante un par de días hasta el curado total de la emulsión y luego se barrió la superficie para remover todo árido que no estuviese pegado a la misma.

Aplicación del microaglomerado en frío.- Luego se aplicó un microaglomerado en frío con el equipo autopropulsado en las dosificaciones mencionadas. El grueso espesor del microaglomerado según se muestra en la **Figura 3** asegura la impermeabilidad y buena terminación del trabajo.

Compactación final.- En esta ocasión se realizó una compactación neumático. De esa forma se logró una apariencia superficial homogénea y cerrada, más adecuada para un barrio residencial y se favoreció el curado al bombear el agua del micro a la superficie como muestra la **Figura 4**.

Evaluación.- Se realizó un relevamiento de los primeros tramos ejecutados en marzo de 2014. Luego de haber soportado casi dos inviernos y un verano podemos decir que la técnica es muy adecuada para este tipo de trabajos ya que tiene la impermeabilidad, durabilidad y acabado superficial necesario para un nuevo barrio. **Figura 5**.



Figura 4: Agua en superficie por compactación neumática.



Figura 5: Aspecto del Capeseal luego de un año.

Conclusiones

La calidad y versatilidad del Capeseal como tratamiento superficial combinado se justifica por la amplia experiencia que hay en el mundo.

En Uruguay hemos conseguido realizar la primera experiencia sin inconvenientes, consiguiendo los materiales adecuados, utilizando buenos equipos, complementado con las buenas prácti-

cas que cada empresa tiene en la ejecución de tratamientos superficiales y trabajando en equipo.

Creemos firmemente que esta solución ha llegado para quedarse y apostamos a fortalecer la difusión de la misma.

(*) *Uruguay, santiago@bitafal.com.uy*

Trabajo presentado en el XVIII CILA.

Referencias

- (1) Solaimanian M. y Kennedy T. W.. "Project Summary Report 1788-S Evaluation Of The Cape Seal Process As A Pavement Rehabilitation Alternative". Center For Transportation Research, Bureau Of Engineering Research, The University Of Texas At Austin. October 1998.
- (2) Arriagada Alvarez G. F.. "Seguimiento De Tramos De Pavimentos Asfálticos Del Tipo Cape Seal En La III Region". Santiago De Chile. Julio 2008.
- (3) Cavieres Acevedo W. P.. "Comportamiento De Las Soluciones Básicas De Carpetas De Rodadura Aplicadas A Caminos De Bajo Tránsito". Santiago De Chile. Marzo 2008.

Ensayos acelerados de pavimentos en Costa Rica

Los diseños de pavimentos en Costa Rica, como en gran parte de Latinoamérica, tradicionalmente han sido preparados utilizando el método de diseño AASHTO 93, metodología que presenta importantes limitaciones. Con el objetivo de mejorar el diseño y construcción de estructuras de pavimento, así como mejorar el entendimiento de los diferentes materiales usados, el LanammeUCR decidió adquirir un Simulador de Vehículos Pesados (conocido por sus siglas en inglés como HVS) con instrumentación.

✍️ LUIS GUILLERMO LORÍA SALAZAR (*)
EDGAR CAMACHO GARITA (**)

Las inversiones que se realizan en infraestructura de transporte son cuantiosas, particularmente la infraestructura vial, donde por ejemplo en Costa Rica cada año se invierten cientos de millones de dólares para mantenimiento de las vías. Sin embargo, las evaluaciones realizadas desde hace ocho años en la red vial pavimentada indican que el desempeño de los trabajos realizados no es óptimo; por lo que las inversiones podrían estarse duplicando y hasta triplicando.

Optimizar el desempeño que tienen los pavimentos en el tiempo es un reto necesario, el cual muchos países han asumido de diferentes maneras y desarrollando proyectos de diferentes índoles. Sin embargo son los ensayos acelerados de pavimentos a escala natural los que proporcionan la información necesaria para tener el panorama completo.

El desarrollo tecnológico que ha planteado el paso de los años nos indica que no basta el simple dimensionamiento de los pavimentos, lo cual puede resultar muy simple. El reto es conocer el comportamiento que una estructura de pavimento tendrá a lo largo de su vida útil, agregando a esto el mejor momento, en términos costo/efectivos, para realizar una intervención de mantenimiento. Así como anticipar el mecanismo de falla que presente el pavimento y la mejor estrategia para intervenirlo.

Considerando la necesidad de generar esta información, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) maduró desde el año 2005 la idea de realizar ensayos de pavimentos a escala natural. Alcanzando un punto importante para el año 2010 cuando se define la compra de un Si-

mulador de Vehículos Pesados (HVS). Asimismo, se han preparado las instalaciones necesarias para realizar ensayos a escala natural bajo condiciones de laboratorio, para poder controlar variables como humedad y temperatura. Igualmente, se cuenta con facilidades en campo donde se puedan realizar los ensayos en espacios abiertos. Debido a todo lo anterior, este artículo presenta los principales elementos, consideraciones y objetivos involucrados en la conceptualización y desarrollo del laboratorio de pavimentos a escala natural del LanammeUCR; de manera que se pueda entender la importancia que tiene el conocimiento del comportamiento de un pavimento en su diseño y evaluación.

Implementación del HVS

En el 2005 se inicia el proceso de análisis



Figura 1. Equipo HVS del LanammeUCR Ubicado sobre el primer tramo experimental ensayado.

sis para la creación de las instalaciones para el ensayo acelerado de pavimentos (APT), principalmente por la necesidad de evaluar a lo largo de su vida útil las estructuras de pavimento. En el 2009, el HVS se introdujo en el presupuesto para los años venideros. Entonces a partir de ese año la implementación del PaveLab se ha programado y planificado.

Durante el año 2011, se trabajó en la licitación y compra del equipo. Paralelamente se diseñaron las propuestas de planes de trabajo del HVS y de la conceptualización de las pistas de prueba y sus fosas. En 2012 se inicia la construcción de las instalaciones del PaveLab mientras se diseñaban las especificaciones finales de las fosas de prueba.

En la parte administrativa se analizaron los requerimientos de instrumentación y de recursos humanos requeridos. Esto implicó la contratación de nuevos inves-

El desarrollo tecnológico que ha planteado el paso de los años nos indica que no basta el simple dimensionamiento de los pavimentos, lo cual puede resultar muy simple. El reto es conocer el comportamiento que una estructura de pavimento tendrá a lo largo de su vida útil, agregando a esto el mejor momento, en términos costo/efectivos, para realizar una intervención de mantenimiento.

tigadores orientados en el trabajo de diseño y análisis de materiales, instrumentación, desempeño de pavimentos y modelado estructural de materiales. A finales del 2012 se inicia la construcción de las pistas de ensayo, iniciando los ensayos el día 9 de julio de 2013. Desde esa fecha y hasta diciembre de 2015 se han aplicado más de 5,2 millones de repeticiones de carga, para 60 millones de ejes equivalentes de diseño (ESALS). **Figura 1.**

El equipo es capaz de trabajar de forma desatendida por un período de hasta 24 horas, o apagarse automáticamente cuando exista algún inconveniente o se alcance un número de pasadas predefinido. Para el desarrollo de ensayos de la primera etapa en el PaveLab, se ha optado por el uso de una configuración con los siguientes elementos generales:

- Velocidad de ensayo de 10km/hr
- Carga variable, iniciando en 40kN, y aumentando gradualmente según la respuesta de la estructura ensayada.
- 20.000 repeticiones de carga bidireccionales por día (asociado directamente al velocidad de ensayo).

El proceso de investigación y ensayo del PaveLab está en un proceso constante de mejora. Pues desde el inicio, el LanammeUCR ha buscado integrar a los diferentes participantes del sector público y privado; con el objetivo de asegurar que los ensayos realizados como parte del plan de trabajo para el HVS traigan los mayores beneficios al país y la región.

La primera etapa de ensayos se planteó la construcción de cuatro estructuras de pavimento, cada una con espacio para dos tramos de ensayo. La **Tabla 1** muestra las características básicas de las cuatro estructuras. Aquí se incluyen los respectivos espesores de las diferentes

capas de las estructuras de pavimento, las propiedades de cada capa.

Para diciembre de 2015 se ha ensayado un tramo de cada una de las estructuras, y se ha iniciado el proceso de saturación de las estructuras, de manera que en 2016 se inicie el ensayo de los

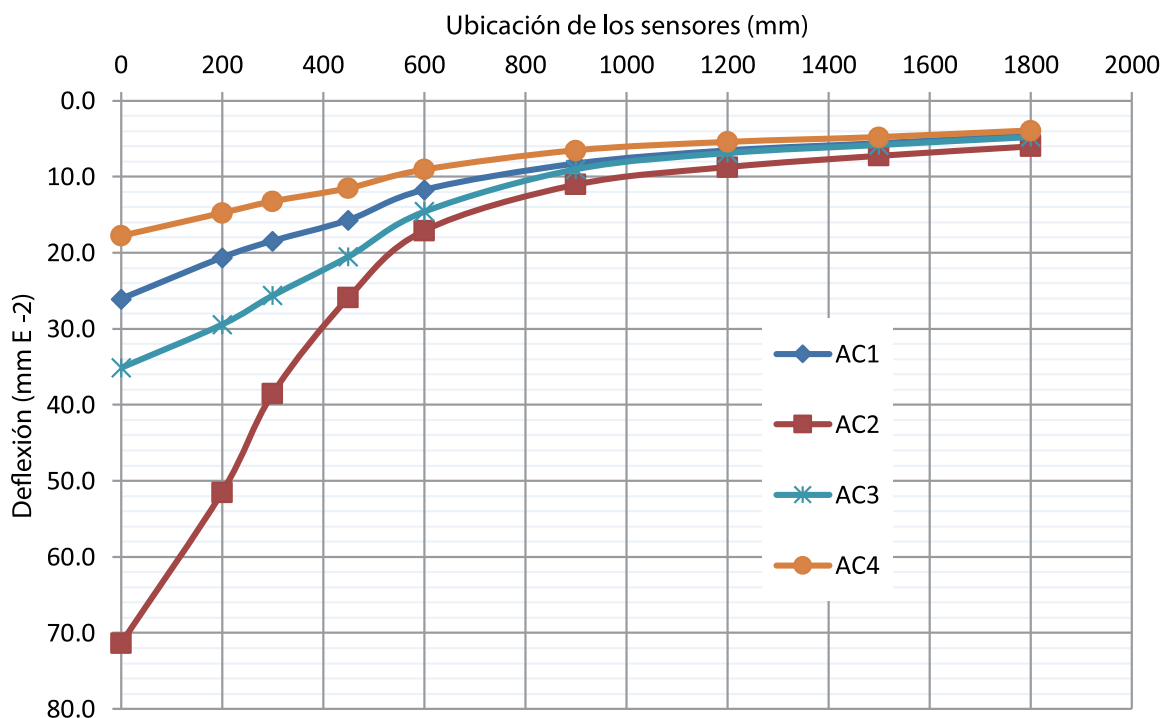
tramos restantes, pero en una condición saturada.

Un objetivo para esta primera etapa es realizar una comparación estructural y funcional de pavimentos que únicamente difieren en espesores de mezcla asfáltica y/o tipo de material de base

Tabla 1. Tramos experimentales propuestos.

Propiedades\ Tramo	AC1	AC2	AC3	AC4
H1, cm - (MA)	7.0	7.0	12	12
H2, cm - (Base)	24	24	24	24
H3, cm - (SB)	30	30	30	30
E1 @ 25 °C, MPa	3500	3500	3500	3500
E2, MPa	2000	200	200	2000
E3, MPa	140	140	140	140
E4, MPa	35	35	35	35

Deflectometría de impacto - Condición inicial Promedios por estructura sobre los tramos



Comparación de la deflectometría de impacto (FWD) de las diferentes estructuras construidas en la primera etapa del PaveLab



Figura 2. Comparación de la deflectometría de impacto (FWD) de las diferentes estructuras construidas en la primera etapa del PaveLab

(granular vs. estabilizado con cemento) manteniendo el resto de variables constantes. Adicionalmente, se pretende determinar el factor de daño equivalente causado por cargas superiores a la carga estándar de 40 kN.

Respuesta de los pavimentos

Una posibilidad utilizada para el desarrollo de ensayos acelerados de pavimentos es la simple evaluación de las estructuras con la aplicación de cargas. Para esto se requiere la colocación de instrumentación para realizar mediciones de respuesta del pavimento, de manera que se maximice el registro y aprovechamiento de la información generada.

Para el caso particular de la primera construcción realizada, se utilizaron diversos instrumentos para registrar la evolución de la estructura ante la aplica-

ción de cargas. A continuación se hace una síntesis de los equipos utilizados.

Se incluyeron transductores para medición de pavimentos para la medición de esfuerzos y deformaciones en pavimentos, en la Figura 2 se aprecia un sensor de deformación tipo "H" el cual permite registrar las deformaciones unitarias ante el paso de la rueda de carga.

Los sensores para medir deformación se colocaron en la interface base/capa asfáltica y en sentido longitudinal (desplazamiento de la carga) y en el sentido transversal (perpendicular al desplazamiento de la carga). De esta manera que se registre la deformación unitaria representativa de la fibra inferior de la mezcla asfáltica en la capa de rueda en sentido transversal y longitudinal.

Los transductores para presión en suelos, Figura 3, consisten en pastillas de titanio recubiertas con epóxico y arena.

Son usados para la medición de presión (esfuerzos) en materiales no ligados como gravas, arenas o arcillas. Fueron colocados bajo la última capa granular de la estructura, y directamente sobre la capa de subrasante (suelo), de manera que se registrara la presión que finalmente recibe el suelo.

Los deflectómetros de profundidad múltiple (MDD por sus siglas en inglés) son usados para medir in situ las deflexiones elásticas (instantáneas) y las deformaciones permanentes en las distintas capas de un tramo de prueba. Consiste en una serie de módulos de transductores lineal variable diferencial montados sobre una varilla en un agujero de 39 mm de diámetro perforado sobre el tramo de prueba.

Adicionalmente se utilizó un deflectómetro de superficie del pavimento (RSD), el cual tiene una precisión de medición de



Figura 3. Celdas de presión utilizadas para medir la presión a nivel de subrasante.

→ 10 micrones, con capacidad de recolección de datos automática de hasta 256 puntos de datos.

Se colocaron sensores de temperatura (termo pares) a cuatro diferentes profundidades, partiendo de la superficie, se variaron las distancias de medición según los espesores de las capas, de manera que se pudiera registrar como la temperatura variaba según la profundidad.

El equipo HVS registra diversos detalles relacionados con el desarrollo del ensayo, se registran detalles como fecha y hora de cada aplicación de carga, la magnitud de la misma y la desviación estándar de la carga a lo largo del tramo de ensayo. Asociado a la capacidad del equipo de aplicar las cargas con alguna desviación lateral, se registra también la ubicación lateral de las cargas aplicadas.

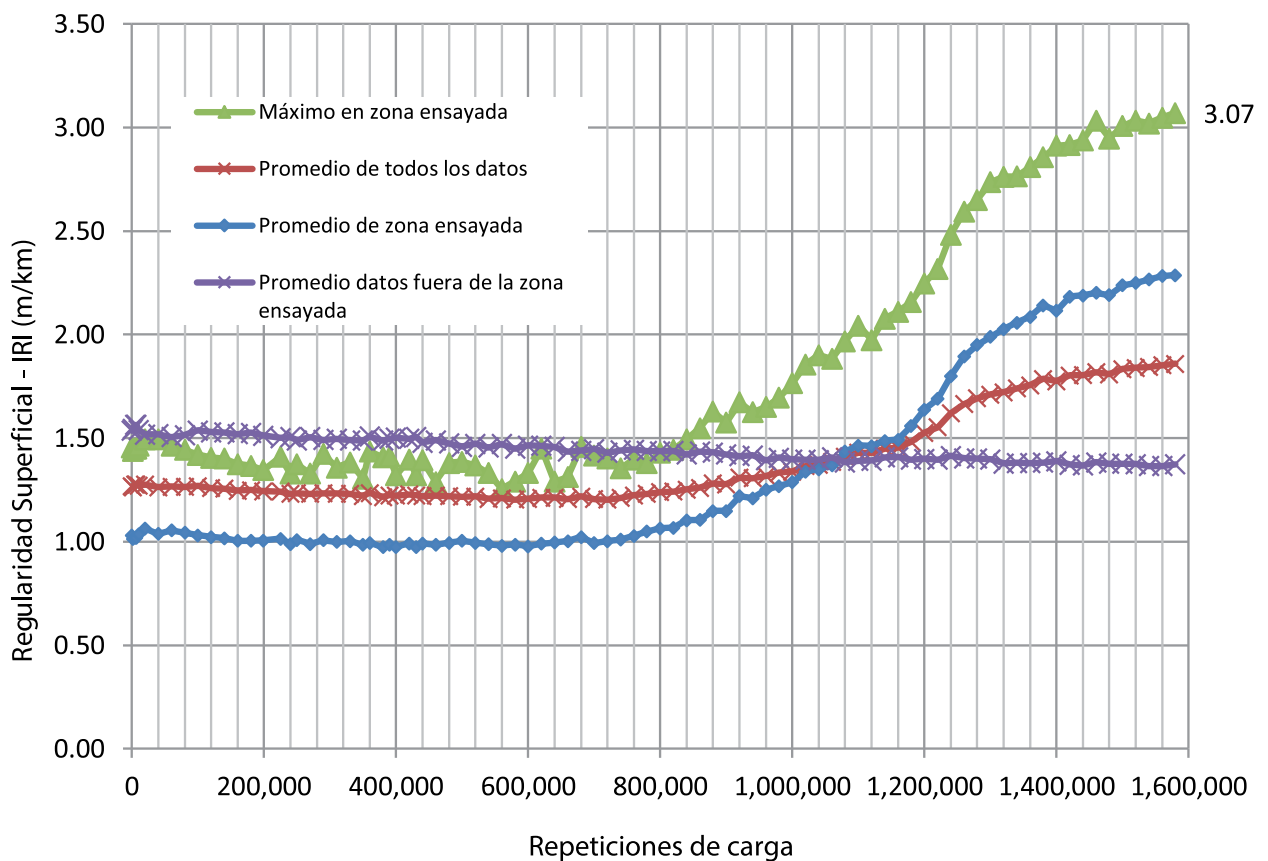
El proceso de investigación y ensayo del PaveLab está en un proceso constante de mejora. Pues desde el inicio, el LanammeUCR ha buscado integrar a los diferentes participantes del sector público y privado; con el objetivo de asegurar que los ensayos realizados como parte del plan de trabajo para el HVS traigan los mayores beneficios al país y la región.

Finalmente el HVS cuenta con dos sensores laser que permiten registrar con gran precisión la distancia entre el sensor y la superficie, de forma que mediante una rutina programada se puede registrar un perfil tridimensional de la superficie del tramo de ensayo, mediante la información registrada en este perfil se puede analizar la evolución que tiene la deformación de la superficie.

A modo de ejemplo se incluye en la Figura 3 un gráfico con la evolución que tuvo el IRI del cuarto tramo ensayado (004AC3), el cálculo de dicho índice se realizó a partir de las lecturas diarias realizadas con los sensores láser con los que se mide la superficie.

Elementos finales

El LanammeUCR ha enfocado su visión a evaluar la calidad de los materiales utilizados para la construcción de in-



Valores de regularidad superficial (IRI) según repeticiones de carga Tramo 004AC3

fraestructura vial desde la nanoescala hasta la escala natural. Entendiendo que mediante una mejor comprensión de los materiales se podrá mejorar el uso de los mismos, impactando de forma positiva la calidad de vida de los costarricenses y su competitividad como nación.

Enfocándose en el objetivo anterior es que se enmarca la implementación del APT del PaveLab. La idea de la adquisición de un HVS está basada en el plan de investigación, a corto y largo plazo que el LanammeUCR tiene como compromiso con Costa Rica. Por lo tanto, las pruebas que se hagan con el PaveLab se basarán en investigación que se dirigirá al desarrollo de nuevas especificaciones para el país, y gradualmente llevarán al desarrollo de la Guía de Diseño Mecánico-Empírica para Costa Rica.

El concepto principal es que se debe pasar de un simple dimensionamiento de las estructuras de pavimentos a un amplio conocimiento del comportamiento de la estructura en el tiempo; entendiendo que éste implicará una economía de escala positiva y desarrollo para el país.

(*) Ingeniero, PhD, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales San Pedro, Costa Rica, luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

(**) Ingeniero Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, San Pedro, Costa Rica, edgar.camachogarita@ucr.ac.cr

- Trabajo presentado en el el XVIII CILA.

Referencias

- Camacho-Garita, E.; Leiva-Villacorta, F. (2014).** "Proceso constructivo PaveLab". Informe: LM-PI-UMP-027-R1 Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
- Choubane, B. Greene, J. and Sheppard, K. (2011)** "Instrumentation of Florida's Accelerated Pavement Testing Facility". FDOT, State Materials Office. Gainesville, FL.
- Hugo, F. Epps Martin, A.L. (2004)** "Significant Findings from Full-Scale Accelerated Pavement Testing". NCHRP Synthesis 325. Washington, D.C.
- Jones, D. Morton, B. (2002).** "HVS operations: Protocol for instrumentation, data collection and data storage - 2nd Draft". CSIR Report TR-2002/22. Pretoria, South Africa.
- Leiva-Villacorta, F., Aguiar-Moya, J. P. A., Loria-Salazar, L. G. (2013).** "Ensayos acelerados de pavimento en Costa Rica". Infraestructura Vial, 15(26), 32-41. San José, Costa Rica.

El Callao era un punto importante para el transporte a falta de caminos luego de la Independencia del Perú.



Los caminos en la República (I)

El siglo XIX en el Perú transcurrió entre la lucha por la independencia, las pugnas civiles y una gran guerra, conflictos que apenas dejaron espacio para construir el desarrollo del país. A pesar de todo ello, la modernidad en las rutas se hizo presente a través de la navegación a vapor y los ferrocarriles. Los gobernantes vieron en estos avances la posibilidad de alcanzar el ansiado despegue económico, pero este anhelo quedó postergado una y otra vez.

Las guerras sucesivas impidieron al Perú construir un sistema vial que le permitiera a la naciente República alcanzar el desarrollo económico al que aspiraba y al que tenía derecho por la importancia que tuvo su territorio durante siglos.

El país donde los incas habían construido un avanzado imperio y donde luego surgió el más poderoso Virreinato de Sudamérica, llegó a la vida republicana dividió en numerosos cacicazgos y casi destruido en su incipiente infraestructura vial.

No obstante, en el siglo XIX el Perú vivió los avances de la tecnología del transporte —con la llegada de los barcos a vapor y de los ferrocarriles—, junto con los atrasos ocasionados por las guerras.

Sombrío panorama

A inicios de la República, los caminos estaban tan descuidados que estaban casi destruidos, dice el historiador Antonello Gerbi.

“Las reparaciones de los caminos de herradura eran cada vez más tardías. La arteria principal del Virreinato, de Lima a Buenos Aires, caía en desuso y se interrumpía. A veces no había dinero ni para hacer salir el correo”. (A Gerbi. Los caminos del Perú, Lima 1919. Pág. 53).

Luego de la independencia, el Perú se vio envuelto en largos años de luchas internas entre los caudillos militares, que llevaron a la formación de la Confederación Perú-Boliviana, en 1837. Por esos años, las pugnas

militares políticas, económicas y comerciales se desarrollaron principalmente en el sur del país, con la presencia de los intereses bolivianos y chilenos.

Hasta estos años no se habían desarrollado las vías de comunicación. Jorge Basadre, en el capítulo XXV de la Historia del la República del Perú, refiere que la región sur del Perú “tenía menos contactos con el norte en los años 1835-1839 y en los precedentes”. Agrega que la navegación a vapor no había llegado a la costa occidental del Pacífico y que los “los caminos eran largos y difíciles, a través de la fragosidad de los Andes. No habían sido concebidos en estas comarcas el ferrocarril ni el telégrafo”.

Es decir que en los primeros años de la República los viajeros del Perú continuaban movilizándose principalmente a caballo.

Por el sur del Perú seguirán usándose los caminos transversales del territorio, como se hizo desde la época preincaica. Los desplazamientos longitudinales por la extensa línea costera no se hacían por vía terrestre sino por la marítima. En 1836, el Perú tenía una población de un millón 373 mil habitantes, y el Cusco, con 216 mil habitantes; Ayacucho y Huancavelica, con 159 mil habitantes, y Puno, con 156 mil, superaban a Lima y al Callao, que en conjunto sumaban 151 mil pobladores.

El puerto de Arica, fundado en 1535, tuvo una próspera relación con el al-

tiplano desde 1546. Por ahí pasaba el tráfico desde La Paz, Cochabamba y las zonas más densamente pobladas.

“La fruta, el azúcar y las aceitunas de los distritos arequipeños, al lado de otros productos y hasta el mercurio de Huancavelica, remitido por la vía de la costa, subían en mulas al Alto Perú. Adicionales rutas de enlace entre el Pacífico y la antigua Audiencia de Charcas, hallábase en el sector del lago Titicaca que unía a La Paz con Puno, Cuzco, Arequipa. Subían por todos esos caminos alimentos y objetos importados; y bajaban otros alimentos y, además, minerales y coca.” (J. Basadre).

Luego de la Independencia, el comercio exterior del Perú languidecía por la ruptura de las comunicaciones con España, y por la creciente rivalidad de los puertos chilenos, que los veleros de Europa y Norteamérica encontraban primero en sus rutas. Desde el puerto de Valparaíso las mercancías eran distribuidas por cabotaje a los puertos de Bolivia, Perú y hasta California.

Esto hizo advertir al ministro peruano Juan García del Río que “el puerto del Callao corría el riesgo de convertirse en un tributario de Valparaíso” (A. Gerbi, Pág. 53-54).

Esta situación prácticamente hizo desaparecer el correo con bueyes, y el movimiento entre los valles se fue perdiendo. Ciudades como Ayacucho y puertos como Paita sufrieron una parálisis de la cual lograron salir



▲ Plaza de Armas de Lima en el siglo XIX. El caballo era el principal medio propulsor para el transporte.

décadas después, según apreció el lingüista alemán J. Tschudy (Travels in Perú during the year 1838-1842 on the Cosast, Sierra, across the Cordilleras of the Andes. Cit. por A. Gerbi. Pág. 54).

Hasta 1840 los peruanos seguían movilizándose a caballo o en coches halados por caballos, y la carga se transportaba en mulas. Para recorrer treinta o cuarenta leguas al sur de Lima se necesitaba proveerse de sesenta y ochenta caballos, que era preciso cambiar cada media hora, exhaustos por el esfuerzo de halar el vehículo que se hundía en la arena. Antonio Raimondi, en su libro “El Perú”, refiere que en su viaje de Lima al río Huallaga (1859) tuvo que recorrer toda la costa, a muy poca distancia del mar, hasta Trujillo, y pasar a nado todos los ríos, por falta de puentes, (Pág. 110).

Hasta 1840 los peruanos seguían movilizándose a caballo o en coches halados por caballos, y la carga se transportaba en mulas. Para recorrer treinta o cuarenta leguas al sur de Lima se necesitaba proveerse de sesenta y ochenta caballos, que era preciso cambiar cada media hora, exhaustos por el esfuerzo de halar el vehículo que se hundía en la arena.

Los barcos a vapor

No obstante todo esto, la crisis del cambio daría paso a un gran empuje que llevaría al Perú a tener, primero que otros países, los adelantos de la tecnología en su territorio.

Según Basadre, el siglo XIX fue el del vapor y el ferrocarril, pero “las pocas vías férreas que, con increíbles hazañas y sacrificios y despilfarros de dinero y de hombres, se pudieron abrir en el Perú, contribuyeron a llevarnos a la bancarrota. El sueño del ferrocarril que debía unir la costa con la selva perduró hasta las primeras décadas del siglo XX”. (Historia de la República del Perú, Cap. XXXII).

El 3 de noviembre de 1840 llegó al Callao la primera embarcación a vapor, llamada “Perú”, aunque en la arboladura flameaba la bandera británica. El trayecto entre el Callao y Valparaíso, que antes podía durar



Los continuos conflictos después de la emancipación peruana, impidieron el desarrollo de los caminos durante varias décadas.

hasta veinte o treinta días, quedó reducido a ocho a partir de esa fecha. Al aumentar la frecuencia de los viajes por el extenso litoral peruano, creció la importancia de la zona de la costa en la vida nacional. (J. Basadre. Historia de la República del Perú).

Con la navegación a vapor, se dio la paradoja de que más demoraba el viaje de Lima a las principales ciudades del interior, como Cusco, que de la capital al resto del mundo.

Diez años más tarde, en 1850, se puso en funcionamiento el ferrocarril de Lima y Callao.

A. Gerbi sostiene que la línea férrea se convirtió en la primera sobre las demás por la novedad, convencimiento en la prosperidad, y por la presión de los intereses del empresariado extranjero y nacional. (Op. Cit. Pág. 56).

A partir de 1842 se comenzó a vivir en el país lo que Basadre llama la "falaz prosperidad del guano", que, por espacio de casi tres décadas, brindó ingentes recursos al Estado y permitió a la vez la formación de una plutocracia costeña y la recuperación de la nobleza empobrecida por las luchas de la Independencia y de los caudillos.

Fue este impulso económico que llevó a la clase gobernantes, influenciado por una élite intelectual, a planear la unión de la costa con los departamentos del interior del país mediante arterias de ferrocarriles, poniendo como garantía la riqueza de los yacimientos del guano.

Los ingentes recursos que proveía la exportación del guano se destinaron a inversiones que no tenían nada que ver con la construcción de caminos. (A. Gerbi. Op. cit. pág. 59).

Cuando se tuvo los recursos para los ferrocarriles, se pensó principalmente en el departamento de Junín, en el que se encontraban todos los climas del mundo y los productores de todas las zonas geográficas. Poner a cinco o seis horas de la capital de la República esa zona, con sus infinitas riquezas, entusiasmó a toda la clase dirigente, con la esperanza de que aumentaría gradualmente la producción interna del Perú, de las poblaciones estancadas obtendrían movilidad y, a través de ella, la ilustración verdadera y la ciencia, y de que saldría ganando el orden interno.

El 1860 existían en el Perú tres ferrocarriles: de Lima a Callao, de Lima a Chorrillos y el de Tacna a Arica. En total, los tres recorrían 56 y media millas. (Anuario Nacional. El Perú en 1860. Alfredo G. Leubel, 1861. Pág. 135).

AMENIDADES

Herramientas



HERRAMIENTAS

Azuela
 Brocha
 Calibre
 Cizalla
 Cuchillo
 Cúter
 Desbrozadora
 Escofina
 Fresadora
 Horquilla
 Lijadora
 Machete
 Nivel
 Polea
 Puntas
 Regla
 Tachueta
 Torno
 Yunque
 Zapapico

					2			1
5	4	2	6			7		
6		7					8	4
2			1	6			4	
		9	5	3	7			8
		3			4	5	6	9
3			4	1				
							1	
7					8			

S
U
D
O
K
U

	9	4	3	2	6			
	3	7						
1					7			
	6		4				2	7
			7	3	5		6	
7	5	8	9					
	4							5
	1	2	8			3		
9		5			3			6



BITUPER S.A.C.

46 años de tecnología en asfaltos



OTTA SEAL



SLURRY SEAL
(DE ROTURA CONTROLADA)



SELLOS DE GRAVILLA



MICROPAVIMENTOS

BITUCOTE Plus®

Mejorador de adherencia tipo amina para asfaltos

BITUMIX®

Mezcla asfáltica instantánea en bolsas para uso inmediato

BITUPRIMER®

Emulsión para imprimación

EMULSIÓN ASFÁLTICA

- Rotura Rápida
- Rotura Media
- Rotura Lenta
- Rotura Controlada
- Superestable
- Modificada con Polímeros
- Emulsión para Imprimación
- Especiales
- **EMULSIÓN PARA OTTA SEAL**

BITULASTIC®

Cemento asfáltico modificado con polímeros SBS

MEGASOIL®

Estabilizador químico para suelos

BITUFLEX®

Sellante elastomérico para grietas y fisuras

Oficina: Av. Del Pinar 152 - Of. 1005 - Chacarilla del Estanque - Surco - Lima 33 - Perú • Telfs: (511) 372 7601 / 05

Planta: Carretera Central Km. 14.800, Minera La Gloria, Ate - Lima 3 - Perú • Telfs: 999 026 674 - RPM: *231 389

administración@bituper.com - www.bituper.com

CAH

Contratistas Generales S.A.

Desde
1971 nuestra
experiencia
nos respalda.

"Pioneros en la Tecnología de Asfaltos Modificados en el Perú"



CAH

Contratistas Generales S.A.

TECNOLOGÍA A SU SERVICIO

Av. República de Colombia 671 - Of. 603 - San Isidro - Lima - Perú.
Central Telefónica: 204 5100 Fax: 204 5100 - Anexo 150
Teléfonos: 440 6239 - 4400064 - 422 0440 - 422 5221 - 441 7577
Planta Laboratorios Callao: 572 2457
E-mail.: camohesa@terra.com.pe

 camohesa

www.camohesa.com.pe