



VIALIDAD Y TRANSPORTE

LATINOAMERICANO

Edición internacional
Año 1 - N° 03
Julio - Setiembre 2015
Lima, Perú

Historia
**Las rutas del
nuevo Perú**

Tecnología
**Pavimentos rígidos
en las alturas**

Informe
**El intercambio
Vial de IRSA norte**

Las carreteras

del futuro



Carpetas Asfálticas Nuevas



Más allá siempre



Laboratorio de Ligantes Asfálticos



Tratamiento Superficial

SOLUCIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y GESTIÓN DE PAVIMENTOS

Somos un grupo comprometido con el desarrollo y mejoramiento de carreteras de nuestro país.



Slurry Seal



Barreras Metálicas

Contenido

p06

Las carreteras del 2004

El avance de las sociedades va a seguir estando unido en el futuro a la posibilidad de tener cada vez una red vial más densa y extensa.

p14

Intercambio vial en el norte del Perú

El Intercambio Vial de Piura se construye en el tramo vial de la IIRSA Norte con una tecnología novedosa para la región.

p24

Pavimento rígido en las alturas

Los severos efectos climáticos que se presentan en las zonas de altura, originan problemas tanto en pavimentos flexibles como rígidos. Este es un estudio del fenómeno.



p30

La cara menos conocida del HDM-4

El HDM-4 no solo es un software sino una metodología de desarrollo y sustento de algunos sistemas de gestión o en la metodología de análisis.

p36

El lidar aerotransportado

Una tecnología nueva que permite determinar las coordenadas de un punto (x,y,z) a partir de las coordenadas de un punto conocido.

p58

La tecnología de TBS

La tecnología del tratamiento superficial bicapa (TSB) es una alternativa de solución eficiente y de alto desempeño para la recuperación de pavimentos.

p64

Gaviones, solución eficaz

La tecnología de los gaviones ha evolucionado considerablemente desde la fabricación del primer gavión en Italia.

p70

Mezclas asfálticas sostenibles

El concepto de Mezclas Asfálticas Sostenibles está referido a Mezclas Asfálticas Tibias Modificadas con Polímeros que brinden un alto desempeño técnico.

p78

Las rutas del nuevo Perú

Durante el Virreinato, los caminos en el Perú perdieron la magnificencia que les habían dado los antiguos pobladores del Tahuantinsuyo.



DIRECTOR: Ing. Jorge Lazarte Conroy
GERENTE: Adrián Honorio

PRODUCCIÓN EDITORIAL: G7 consultores SAC

COLABORADORES: Christy García Godos Naveda, Lorena León Vásquez, Jhonny Figueres Castillo, Enrique Miralles Olivar, Walter Zecenarro Mateus, Luis Fernando Andrade, Javier Blossier, Luis Alfonso Peña Claros, Carlos M. Chang-Albitres, Edith Montes, Oscar Giovanon, Marta Pagola, Charly Hamoni Khabasi, Manuel Armando Ferrer Santiago, Alejandro Chang Chiang, Alberto Bardessi, Jorge Escalante Zegarra, Elena de la Peña, Marco Montalvo Farfán, Mauricio Salgado Torres, María elena Hidalgo, Luis Hernán Aranda Fajardo.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN: Ronald Cossio Q.

OFICINA DE REDACCIÓN: Dirección: Jr. Montecarlo 260 – 402 – Surco. Teléfono: 372 3637 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

Los artículos firmados son de responsabilidad exclusiva del autor.

(511) 617 - 4700

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

WWW.GRUPOTDM.COM

contactenos@grupotdm.com

Editorial



Ing. Jorge Lazarte Conroy

Importancia de las normas y su cumplimiento

El Perú es un país donde existen normas y reglamentos en abundancia en todos los campos sociales, políticos y económicos. El problema es que no se cumple y, muchas veces, ni siquiera la autoridad encargada de aplicarlas las conocen bien o, en su defecto, si en caso las conocieran, prefieren hacer caso omiso de ellas. Un ejemplo es el Reglamento Nacional de Tránsito, muchos de cuyos articulados son letra muerta para la ciudadanía en general y los accidentes siguen sucediéndose en calles, avenidas y carreteras del país.

Durante mucho tiempo, las normas relacionadas con la vialidad, han permanecido estancadas, arcaicas, como detenidas en el tiempo sin que nadie hiciera nada. Sin embargo, hay que reconocer que en la actualidad se están haciendo esfuerzos para perfeccionarlas, aunque aún falta velocidad y decisión política para llegar a buenos niveles. Y, como diría el poeta César Vallejo, aún queda mucho por hacer.

En medio de este panorama, lo más triste y cuestionable es que cuando existen normas adecuadas y modernas, las autoridades y organismos competentes, simplemente, no las acatan. Ese es el caso del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) que ordena las vías en niveles de jerarquía, debidamente agrupadas en 3 redes viales: Nacional, Departamental o Regional y Vecinales, sobre la base de las autoridades a que corresponde su competencia y, por consiguiente, su funcionalidad e importancia.

Lamentablemente la mayor y casi única preocupación del Estado está en la Red Vial Nacional (20% del SINAC) en la cual solo algo más del 50% están debidamente pavimentadas. Ac-

tualmente, en esta red se mantienen, rehabilitan, reconstruyen y se siguen construyendo nuevas rutas sin tener en cuenta, en muchos y muchos casos, las normas y especificaciones técnicas existentes, como por ejemplo: radios mínimos, anchos mínimos de calzadas y bermas, capacidad de los puentes así como veredas peatonales o sobre-anchos en los mismos y otros, aduciendo, en la mayor parte de los casos, razones económicas y restricciones que suele poner el Ministerio de Economía y Finanzas por razones presupuestales.

Lo cierto es que este tipo de acciones influyen en la inseguridad vial y, por supuesto, afectan la fluidez del tránsito generando serios problemas de congestión que, finalmente, redundan en mayores costos para el erario nacional.

También es importante señalar la falta de investigación, carencia de laboratorios del estado y lentitud en normar los avances tecnológicos en materia de diseño y construcciones viales.

Las autoridades saben que las consecuencias de sus decisiones son graves a corto mediano y largo plazo y, no obstante ello, poco o nada hace por resolver el problema y se siguen autorizando la construcción de nuevas carreteras, incluso, concesionándolas a mediano y largo plazo (20, 25 o 30 años) sin los estándares requeridos, olvidándose que no solo se hacen para hoy, sino para el futuro nacional ¿Qué hacer ante esta realidad?, la pregunta es fácil de formular, pero difícil de responder. Preocupante, de verdad.

El director.



www.duravia.com.pe

DURAVÍA, EL CAMINO QUE EL PERÚ NECESITA

Duravía es la solución vial en concreto, con visión a futuro, frente a las tradicionales redes viales de asfalto porque ofrece:

- **Mayor vida útil en la pista.**
Duravía recibe **mantenimiento mínimo en su vida útil**, mientras que las vías de asfalto requieren mantenimiento continuo.
- **Mayor seguridad vial.**
Duravía tiene **mejor adherencia** entre el pavimento y el neumático.
- **Ahorro en costos de iluminación.**
Duravía es **3 veces más reflejante** que el asfalto.
- **La opción más económica y rentable en el tiempo.**
Duravía requiere **menor cantidad de insumos y menor costo de mantenimiento**.
- **Mayor cuidado con el medio ambiente.**
Duravía **reduce las emisiones de dióxido de carbono** y requiere menor energía para su construcción.

Duravía
CONCRETANDO CAMINOS

UNIDAD DE NEGOCIOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO - DURAVÍA: 215-4715
CONTACTOS: Ing. Mónica Barrantes / Ing. Patricia Vergara: 215-4600, anexos 4842 - 4814

Desde finales del XVIII el crecimiento de la movilidad ha venido asociado a un modelo de progreso en el que las sociedades occidentales han multiplicado su nivel de prosperidad.

Las carreteras del 2040

VICENTE DÓMINE REDONDO (*)

Esto no es un artículo de ciencia-ficción. Hablamos de lo que pasará dentro de 25 años. Poco tiempo en obra pública. Ahora hace 2326 años el censor Apio Claudio Caecus diseñó un eje para articular Roma y su pequeño estado con los nuevos territorios del sur. Desde hace algunos siglos la Vía Apia ya no se usa. Pero sería imposible comprender las siguientes etapas de la consolidación del estado romano y la conformación del sur de Italia desde entonces hasta nuestros días sin analizar los efectos de esta decisión.

Las infraestructuras de transporte tardan muchos años en concebirse y construirse. Algunas de las que se pensaron en el año 90 aún no están concluidas. Pero sus efectos perviven durante mucho tiempo y, en ocasiones, son determinantes para el progreso de los territorios. La actual crisis se acaba. Y quizá sea el mejor momento para reflexionar lo que la sociedad espera de la gestión de carreteras en los próximos años. Plantear escenarios futuros es siempre arriesgarse. Pero algo es seguro: habrá cambios en la forma de concebir la gestión de la carretera. Y algunos, como vamos a ver, van a ser sustanciales.

El servicio público de vialidad

La movilidad es una pieza clave en el progreso de nuestras sociedades. Cada vez que los ciudadanos han tenido posibilidades de desplazarse más veces y más lejos han tenido más opciones de acceso al empleo, a los servicios públicos y privados, a la formación y al ocio. Y cada vez que las mercancías han podido desplazarse más fácilmente y a menores costes han podido optar de más y mejores bienes y más baratos. Y además las empresas han crecido en su conjunto y han generado más empleo.

Y con las personas y las mercancías se han desplazado las ideas, la innovación y el progreso. Desde finales del XVIII el crecimiento de la movilidad ha venido asociado a un modelo de progreso en el que las sociedades occidentales han multiplicado su nivel de prosperidad y, a la vez, su nivel de libertad en el sentido más amplio de la palabra. El ferrocarril, el vehículo privado y el desarrollo de la aviación junto con una abundante inversión en capital público infraestructural han supuesto pasos adelante sin los que no sería posible explicar un gigantesco ciclo de crecimiento que ha podido generar un ingente volumen de excedentes, sin los que el estado del bienestar no hubiera sido viable. Y paralelamente un abanico de posibilidades prácticamente

inagotable al servicio de las distintas opciones personales. Pero sabemos ahora que esta espiral virtuosa tiene serios condicionantes y límites. Era un modelo basado en los combustibles fósiles y otros recursos no renovables y que por lo tanto no podía asegurar la sostenibilidad a largo plazo. Y por otra parte, como cualquier fenómeno de crecimiento, se enfrenta al propio límite que sus beneficiarios imponen a la hora de asegurar su calidad de vida. Los límites ambientales del crecimiento de la movilidad han tenido un gran protagonista en la emisión de gases de efecto invernadero. Pero no es este ni el único, ni siquiera la peor de las externalidades a atajar. La propia calidad del aire tiene muchos más aspectos que nos debieran preocupar y en bastantes casos ligados de forma directa a la salud de las personas. Y junto a ello el ruido, la calidad urbana, la afección a la vida urbana, al paisaje o a los valores naturales nos preocupan cada vez más.

La movilidad es una pieza clave en el progreso de nuestras sociedades. Cada vez que los ciudadanos han tenido posibilidades de desplazarse más veces y más lejos han tenido más opciones de acceso al empleo, a los servicios públicos y privados, a la formación y al ocio. Y cada vez que las mercancías han podido desplazarse más fácilmente y a menores costes han podido optar de más y mejores bienes y más baratos (...)

Frente a este dilema algunos propugnan tender hacia la movilidad cero. Lo mejor es atajar la necesidad de desplazarse. El empleo, la escuela, el médico, el comercio... deben estar, en la medida de lo posible, a nuestro lado para poder acceder en un desplazamiento corto. Un modelo teórico interesante pero que choca con algo que no deberíamos olvidar: a los ciudadanos les gusta a veces (en muchas ocasiones) elegir otras opciones, aún a pesar de tener que sacrificar una parte importante de su tiempo y de sus recursos a desplazarse.

Sin duda es imprescindible avanzar hacia modelos urbanos mejor planificados, más densos e integrados y hacia un mayor uso de las opciones telemáticas que reduzcan la necesidad de desplazamientos obligados. Pero más allá de ello, el avance de las sociedades va a seguir estando unido en el futuro a la posibilidad de tener cada vez una red más densa y extensa de interrelación, y con ello seguirá aumentando la demanda de movilidad y seguirá siendo necesario buscar soluciones para desplazar cada vez más mercancías a sitios más lejanos. Los expertos señalan que el incremento de demanda de transporte crece uno o dos puntos por encima del PIB, de manera que en una etapa expansiva de la economía como la que empezaremos a volver a disfrutar a partir del 2016, en dos décadas esta demanda puede volver a duplicarse.

Por lo tanto, a la salida de esta crisis los poderes públicos se enfrentarán al problema de atender a la demanda de movilidad como un eslabón esencial de las sociedades que quieren progresar en un marco muy distinto a aquel en el que se desarrollaron las políticas de infraestructuras y transportes de los años setenta, ochenta o noventa, en el que los condicionantes energéticos, presupuestarios y ambientales van a ser determinantes.

Digámoslo de otra forma: las políticas de movilidad y logística van a seguir siendo un pilar esencial de las sociedades avanzadas, pilar sin el cual el crecimiento de



Las carreteras del futuro: automatización, integración, descenso radical de las emisiones y cero víctimas.

la economía y del empleo, el acceso a los servicios y a las oportunidades de desarrollo personal no agotarán todas sus posibilidades. Es necesario reclamar un papel protagónico a tales políticas semejante al que se le dan a otros pilares del estado del bienestar tales como la sanidad, la formación o el bienestar social.

Pero también del razonamiento antes apuntado se deriva otra conclusión: las políticas de infraestructuras en general y las de carreteras en particular, no constituyen en sí mismo un bloque autónomo de decisión en tanto no se integran en políticas más amplias de movilidad y logística. Detrás de cada decisión sobre una inversión pública debe haber un análisis sobre su necesidad, efectos y razones en relación con los objetivos antes planteados. Y por otra parte los órganos que administran tales políticas deben tener ese nivel de decisión global sobre el problema a abordar.

Estas necesidades de estructura administrativa han ido avanzando en este sentido en los últimos años en toda Europa en donde la denominación de los ministerios estatales o regionales competentes en infraestructuras, cada vez en más casos, incluye el término transporte, dando la afección más integral que incluye, como es obvio, tanto el que se realiza en transporte colec-

tivo o vehículo individual. La etimología de nuestro Ministerio de Fomento nace precisamente en el siglo XIX de esta vocación integral al sistema productivo y al progreso de la sociedad. Se trata de un nombre, por lo tanto, que rememora las funciones que aquí estamos reclamando, con independencia de que en su estructura interna y en el tipo de políticas que desarrolla deberían estar presentes cada vez más, las políticas de desarrollo territorial y en relación con ello, la competitividad de nuestro territorio a escala europea y global.

¿Qué papel le espera a la carretera en el marco de estas nuevas políticas de movilidad y logística? Para la opinión pública no especializada, el término movilidad sostenible y en consecuencia la prevalencia del transporte público ferroviario, solución a todos los problemas y por lo tanto, dentro de este razonamiento, la carretera es un elemento marginal. Una reflexión que se repite en tertulias privadas, en los medios de comunicación y que, desgraciadamente también en la justificación de bastantes decisiones públicas desafortunadas.

Muchos de los que defendimos en las décadas de los ochenta o noventa el término movilidad sostenible hemos dejado de manejarlo a la vista de que lo adjetivo ha pasado a ser sustantivo en la terminología

habitual. Sin duda los objetivos de sostenibilidad son esenciales, pero también la movilidad ha de ser segura, eficiente y accesible para todos. Y por otra parte la movilidad ha de ser sostenible pero ni más ni menos que las políticas energéticas, sanitarias, de edificación o de otros muchos aspectos de las sociedades avanzadas.

Lo importante no es por lo tanto la repetición machacona del término sostenible sino el objetivo último: apostar por un patrón de movilidad equilibrado que nos permita mejorar las opciones de desplazamiento de viajeros, metropolitanos e interurbanos, y de mercancías, de manera segura al menor coste posible y con el mayor respeto a los valores medioambientales, naturales y urbanos con los que nos hemos comprometido.

Y en ese patrón de movilidad equilibrado la carretera va a seguir jugando en las próximas décadas un papel central, más allá de lo que el análisis simplista antes señalado presagia.

En este sentido hay que señalar en primer lugar, que la carretera es en estos momentos la principal infraestructura de transporte público en el conjunto de España. Mediante ella se garantizan en España del orden de 55,7 miles de millones de viajeros kilómetro, frente a 22,8 del ferrocarril. La red



de transporte público en autobús supone el doble del transporte en ferrocarril y nuestras carreteras son sus infraestructuras.

Es cierto que el transporte público en autobús no es una solución aceptable cuando los flujos son especialmente intensos, como los que se dan por ejemplo en los accesos radiales a las grandes ciudades o en los grandes corredores interurbanos. Pero es una solución muy razonable para demandas intermedias y bajas. Una solución que además va a competir con el ferrocarril en los próximos años con algunas bazas favorables que le van a permitir tener un papel creciente en el esquema de movilidad equilibrada que reclamábamos.

En primer lugar la soluciones eléctricas e híbridas están avanzando aceleradamente, de manera que la eficiencia energética y en materia de emisiones que se le atribuía en exclusiva a las soluciones tranviarias y ferroviarias va a desaparecer. Probablemente al final de la siguiente década la inmensa mayor parte de los autobuses sean de tracción eléctrica con independencia de que la energía sea proporcionada por sistemas continuos físicos (trolebús) o no físicos, o de que se disponga de motores de combustión secundarios.

Cierto es que la rodadura neumática supone un coste energético superior al de la rueda carril, pero en sentido contrario su flexibilidad permite una atención más precisa a las demandas cuando éstas no tienen un alto nivel de concentración. Las necesidades de personal por plaza ofertada son sin duda más altas que en materia ferroviaria, pero por el contrario el ferrocarril desde el momento mismo en que nació ha tenido una tendencia irrefrenable hacia el monopolio empresarial y sindical mucho menor que el transporte en autobús, realmente liberalizado en muchos países europeos y de otros continentes. De manera que el coste efectivo de personal de la explotación ferroviaria suele desbordar con frecuencia al de las alternativas por carretera.

Espacios metropolitanos como París y Ámsterdam, Houston, Boston, Miami, Bogotá y muchos otros han desarrollado sistemas de transporte público que van desde soluciones cuasi ferroviaria (plataforma reservada independiente incluso en algunos casos con túneles urbanos convencionales) hasta medidas que con el auxilio de sistemas inteligentes preferencian el tiempo de recorrido del autobús. En España el éxito del corredor de transporte público de la N-VI es bien conocido. La Generalitat Valenciana puso en servicio

Los expertos señalan que el incremento de demanda de transporte crece uno o dos puntos por encima del PIB, de manera que en una etapa expansiva de la economía como la que empezaremos a volver a disfrutar a partir del 2016, en dos décadas esta demanda puede volver a duplicarse.

hace más de un lustro un sistema de vehículos de tracción eléctrica y guiado óptico en Castellón sobre una plataforma viaria reservada (el sistema TRAM) que se ha manifestado como una excelente alternativa a una solución tranviaria para la demanda propia de una ciudad intermedia y a unos costes mucho más ajustados.

Sin duda veremos avanzar este tipo de soluciones a un ritmo creciente. Y en todo caso veremos como las necesidades del transporte público cada vez se internalizan en el diseño y gestión de las carreteras, tanto en los grandes ejes viarios como a la hora de atender necesidades de los autobuses cuando dan servicio a los pequeños núcleos urbanos.

Sea como soporte del transporte público o de la circulación en vehículo privado, en todo caso, una red viaria correctamente conservada y gestionada es esencial para la movilidad de los ciudadanos. Las administraciones de carreteras, y las empresas y profesionales que desarrollan su actividad en torno a ellas, han hecho un titánico esfuerzo para ampliar, adecuar y modernizar la red viaria. El objetivo primordial era entonces la construcción y generación de las infraestructuras necesarias. Pero ahora ha variado: se trata de prestar el servicio público de vialidad como eslabón clave de la movilidad. La conservación, el mantenimiento y, una nueva asignatura, la gestión integrada como sistema de transporte, pasan a ser en los próximos años, por lo tanto, el asunto central junto con la contante mejora de la seguridad vial.

Es quizá el aspecto de la gestión integrada el que merezca alguna reflexión adicional. El desplazamiento en vehículo privado o en los transportes públicos que utiliza la carretera conforma un sistema único cuya eficiencia depende, por descontado, de la calidad de la propia infraestructura, de los vehículos y de la conducción. Pero también depende de la correcta interrelación entre estos tres factores.

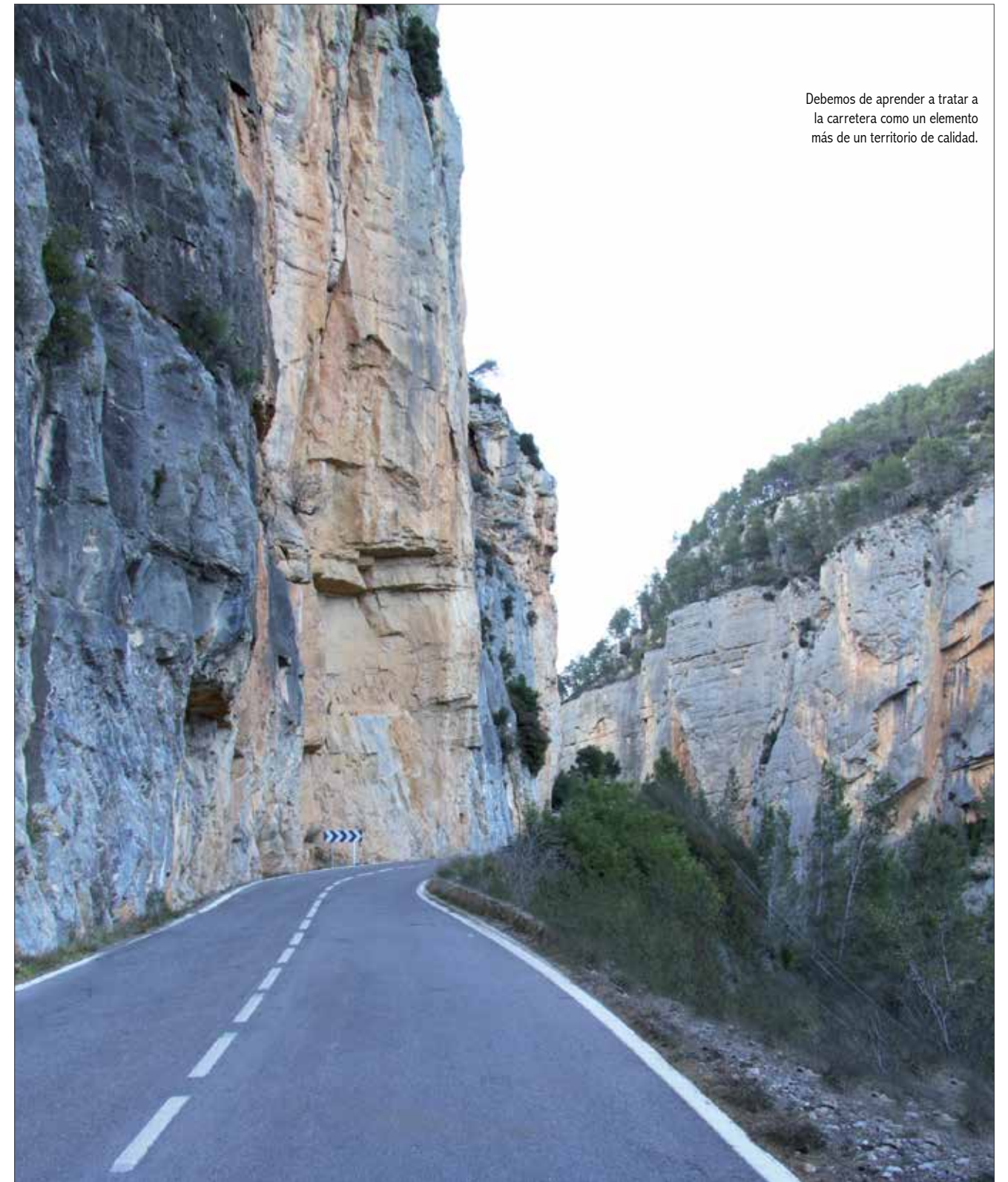
El enfoque sistémico en materia de transportes no es en absoluto una novedad: las redes ferroviarias y tranviarias se enfocan como sistemas unitarios con un fuerte nivel de interrelación entre la infraestructura, la conducción y el vehículo. Interrelación que abarca aspectos tecnológicos, informativos, económicos y organizativos. Desde

hace muchos años el desplazamiento de los trenes obedece a unas lógicas determinadas que permiten elevados niveles de optimización, refrendadas por sistemas tecnológicos de información y control muy avanzados. La repetición de señales y el frenado automático, por ejemplo, forman parte ya casi de la arqueología ferroviaria y hace más de cuatro décadas vienen operando sin mayor problema, sistemas de conducción automática.

¿Y en las carreteras? Por descontado la ingeniería convencional resolvió hace ya muchos años los problemas de interrelación entre la cinemática del vehículo y la vía. Pero a partir de ahí los avances en la concepción sistémica del transporte por carretera, de mercancías o viajeros, llevan un tremendo retraso.

Lo que en terminología ferroviaria sería la repetición de señales en cabina (en puesto de conducción) sería sin duda una tremenda aportación a la seguridad vial. La predicción o el aviso de situaciones de peligro, de prohibición de adelantamiento o de limitación de velocidad supondrían una contribución importante a la seguridad vial. Y más aún si alguna de estas prohibiciones se incorporara al vehículo no solamente como una información, si no como una acción (por ejemplo en la adaptación a la velocidad de la vía). Si este nivel de interacción ya se hubiera puesto en marcha en el pasado seguro que ahora ya se estaría hablando del paso siguiente: el guiado automático o, al menos, las restricciones automáticas a los errores o imprudencias en la conducción tales como la salida de la vía. Y en paralelo la detección de personas, objetos u otros vehículos y la adopción de respuestas adecuadas.

Pasos previos todos ellos a la conducción automática: el conductor, principal factor de riesgo, desaparece de la escena con lo cual la seguridad vial puede alcanzar realmente los niveles que todos deseamos. Además la optimización energética y de emisiones globales se maximiza, y en paralelo también la capacidad de la red viaria. En el año 2040 seguiremos conduciendo por ciudades y carreteras secundarias pero en un momento, tras entrar en determinadas vías, la conducción automática nos liberará de este trabajo. Y algunos años antes probablemente lo veamos en el



Debemos de aprender a tratar a la carretera como un elemento más de un territorio de calidad.

transporte pesado, dando un salto adelante increíble en los costes logísticos.

Todas estas tecnologías existen y en algunos aspectos concretos son incluso ya operativas. Los fabricantes de vehículos y algunas empresas de alta tecnología están trabajando en ello. Dos sectores tremendamente innovadores y competitivos y que ya han demostrado su capacidad de avance en cuestiones como las ambientales con

la introducción de los vehículos híbridos. Con toda seguridad irán por delante de las administraciones a la hora de establecer protocolos de interoperatividad y de seguridad, y éstas al final, con un decalaje que esperemos que sea lo más corto posible, vencerán sus inercias para dar pasos firmes en esta materia.

Más allá de este paso, la potenciación del uso del transporte público podrá tener un

aliado sin duda de la aplicación de tasas diferenciadas por el uso de la infraestructura viaria. El sistema de fiscalidad que ahora se emplea para el uso de las infraestructuras viarias tiene unas grandes deficiencias ya que no es selectivo. El impuesto de hidrocarburos se emplea de la misma forma sobre los kilómetros recorridos por un trabajador de un núcleo rural que necesariamente tiene que desplazarse todos los días



30 kilómetros para acceder a su puesto de trabajo, como el que utiliza el vehículo congestionando un acceso a una gran ciudad en donde en paralelo existe una oferta eficiente de transporte público. La tasa por el pago de infraestructuras forma parte de un debate fiscal y de financiación de su conservación.

Pero además, si se implementa debidamente, permitirá discriminar o bonificar determinados recorridos u horarios, favoreciendo la desviación hacia el transporte público en un modelo de opción y no de imposición. La aplicación de tales medidas tendrá como consecuencia la mejora de tiempos de recorrido del transporte público en relación con el privado y la de otros factores de atractividad claves en la conformación del patrón de distribución modal, especialmente en los accesos a las grandes ciudades desde las segundas coronas metropolitanas en donde van a ser más importantes los incrementos de demanda.

Carreteras cada vez más integradas en el entorno

Los ciudadanos del siglo XXI están esperando carreteras que aseguren su movilidad y que además sean eficientes. Pero también que estén integradas en el territorio y en el medio urbano y metropolitano. El sistema de transporte es por definición el sistema que asegura la interrelación del territorio y por lo tanto el que debe de asumir su responsabilidad de ser su elemento vertebrador e integrador.

La ingeniería de infraestructuras había sido, por esta razón, una de las claves de la acción pública en el territorio. Y si bien es cierto que en ocasiones han habido errores, en la mayor parte de los casos ha asumido de una manera razonable el compromiso de mejorar la interconexión del territorio minimizando los efectos desfavorables sobre él. Desde hace más de dos décadas la normativa europea somete a las acciones en materia de infraestructuras a un control medioambiental paralelo al de las actividades privadas. Se quiebra el principio de concepción integrada de los técnicos y decisores políticos sobre las infraestructuras para una concepción segmentada, en el que unos técnicos y políticos se responsabilizaban de los aspectos funcionales, mientras que otros técnicos y políticos (del mismo gobierno y del mismo centro directivo a veces) se responsabilizaban de los aspectos territoriales y ambientales. Y simultáneamente con dos instrumentos a veces independientes de consulta pública. El resultado ha sido, desde mi punto de

Debemos de aprender a tratar a la carretera como un elemento más de un territorio de calidad. Pero además debemos recordar que la carretera es el elemento esencial mediante el cual los ciudadanos perciben el territorio. Para la mayoría de los ciudadanos, el territorio no es el que describen y analizan los geógrafos, si no lo que perciben cuando conducen o usan un vehículo.

vista, negativo. Dilaciones interminables, oscurecimiento de la información pública, y en la práctica, niveles de afección ambiental en muchas ocasiones peores que los resultantes de los procesos de decisión integrada.

Quizá la legislación europea reflexione sobre este asunto en un momento determinado y establezca mecanismos más eficientes al respecto. Pero mientras tanto la ingeniería de carreteras debería volver a su carácter integral, que implica planificar, proyectar, ejecutar, gestionar y mantener la red viaria internalizando en cada momento del proceso todos los aspectos y objetivos a tener en cuenta, desde los paisajísticos y ambientales, hasta la seguridad y los efectos sobre el desarrollo territorial, sin esperar de los sucesivos trámites de control por terceros mejores propuestas que las dadas por los que impulsan el propio proyecto. Un ejemplo muy claro de ello lo tenemos en las cuestiones relacionadas con el paisaje. Desde que se implantó la tramitación ambiental los profesionales de la carretera esperaban que su protección y valorización viniera de la mano de la declaración de impacto. Pero, salvo casos excepcionales esto no se ha producido, sino que al contrario, en un mal entendimiento de la integración de las infraestructuras con el entorno se ha forzado a geometrías y rasantes derivadas de factores ecológicos irrelevantes que han conllevado graves afecciones al paisaje.

La vuelta a esta concepción integral seguro que nos llevará a carreteras que seguirán siendo eficientes, pero con niveles de integración en el entorno muy superiores. Probablemente con cada vez una mayor presencia de las obras de fábrica y los túneles cortos frente al movimiento de tierras, y cuando este sea necesario, bajo una filosofía de reconstrucción paisajística que permita una relación visual armónica de la vía con su entorno. Y, bajo esta óptica, cuando se trate de espacios urbanos o periurbanos la carretera alcanzará el papel que le corresponde como su elemento clave de articulación.

Debemos de aprender a tratar a la carretera como un elemento más de un territorio de calidad. Pero además debemos recor-

dar que la carretera es el elemento esencial mediante el cual los ciudadanos perciben el territorio. Para la mayoría de los ciudadanos, el territorio no es el que describen y analizan los geógrafos, si no lo que perciben cuando conducen o usan un vehículo. Delante de sus ojos, como en una película, suceden una serie de imágenes animadas que a veces pasan desapercibidas, pero que otras veces transmiten sensaciones agradables o desagradables.

Y más allá de una sensación puramente estética: es una experiencia de auto implicación en un bien común y de la conciencia de que sobre él estamos actuando o inactuando con un nivel de racionalidad suficiente. Este es el concepto de carretera escénica que conlleva tratar la vía no solamente pensando desde el punto de vista de la eficiencia, si no del disfrute de conducir y gozar de un entorno de calidad. Y que conlleva igualmente preocuparse por dicho entorno inmediato y lejano para mejorarlo eliminando los elementos intrusivos que dañen las cuencas visuales valorables. En la provincia de Castellón se ha empezado a trabajar bajo este concepto en un eje, la Carretera Paisajística del Mijares, como base para este análisis y además, y ésto es importante, como apoyo a la economías locales. En los entornos urbanos y periurbanos el objetivo de integración en el entorno añade a las cuestiones ambientales, paisajísticas y naturales un elemento adicional. El ser el elemento esencial de vertebración de los espacios urbanos. El XIX y la primera parte del XX hemos visto crecer los espacios urbanos de la mano de unas estructuras viarias básicas definidas por el urbanismo municipal. Pero a partir de mitades del pasado siglo el crecimiento ha sido esencialmente metropolitano y ahí que las respuestas del planeamiento supramunicipal con frecuencia han sido inexistentes, de manera que le ha correspondido a la acción inversora en viario y transporte público metropolitano este carácter vertebrador. Los ejes metropolitanos son las avenidas y bulevares del XXI y los enlaces e intersecciones, sus plazas. Las sendas y nodos que permiten comprender y articular los espacios metropolitanos. Esta función debe ser internalizada igualmente desde



Las carreteras del siglo XXI deberán ser carreteras pensadas para todos.

la concepción de la carretera llevando a soluciones específicas no solamente en lo funcional, en el sentido de atender debidamente a los flujos de corta y media distancia sino también, y fundamentalmente, en la elección de tipologías adecuadas especialmente cuidadosas en el tratamiento de la interface con los usos colindantes del territorio.

En la Generalidad Valenciana se ha hecho uso en este sentido de la filosofía de vía parque como elemento capaz de conjugar capacidad, y amabilidad con el entorno y con el propio usuario. Y niveles muy elevados de seguridad ya que su esencia es la unión de elementos básicos para una conducción segura: calzadas independientes, tratamiento cuidado de intersecciones mediante rotondas y sobre todo el que la percepción de la vía induzca velocidades y niveles de atención adecuados.

El concepto de amabilidad con el propio usuario inherente a diseños como las vías parque cada vez lo vamos a tener más presente. En las siguientes décadas tendremos sin duda vías de conducción automática. Pero también muchas calles y carreteras convencionales que van a ser usadas por un perfil de usuario mayor y con más problemas físicos y perceptuales. Y por lo tanto tendremos que pensar además de en el conductor tipo de la instrucción, en

otros conductores que necesitan tiempos distintos de percepción en relación con las decisiones respecto a la señalización o la frenada. Las carreteras del siglo XXI deberán ser carreteras pensadas para todos. En las próximas dos o tres décadas se

En las próximas dos o tres décadas se abre ante nosotros un reto gigantesco. Pero no es la primera vez que este tipo de revoluciones ha sucedido. Durante 2000 años tuvo como usuarios a los caminantes y los carruajes. Pero a partir de 1890 apareció un invento que nadie había podido prever: el vehículo automóvil, con unas solicitaciones que para nada tenían que ver con los antiguos usuarios.

abre ante nosotros un reto gigantesco. Pero no es la primera vez que este tipo de revoluciones ha sucedido. Durante 2000 años la ingeniería de caminos tuvo como usuarios a los caminantes y los carruajes. Pero a partir de 1890 apareció un invento que nadie había podido prever: el vehículo automóvil, con unas solicitaciones que para nada tenían que ver con los antiguos usuarios. Y en pocos años, apenas tres décadas, los viejos caminos dieron paso a una red de modernas carreteras y autovías adaptadas al nuevo invento. Ahora tenemos ante nosotros un reto semejante. Las carreteras del 2040 depararán cambios espectaculares. Automatización, integración en un sistema más avanzado de movilidad equilibrada, descenso radical de las emisiones, amabilidad con el entorno y con el propio usuario y aproximación al reto de cero víctimas.

Pero en el fondo cumpliendo objetivos no muy distintos que los que las carreteras han venido cumpliendo siempre: favorecer el desplazamiento de los ciudadanos y de las mercancías, y con ello el comercio, el crecimiento y el desarrollo, la interrelación de la gente y la difusión de las ideas. En una palabra el progreso.

(*) *Director General de Obras Públicas Valencia España.*



1er Congreso Nacional de Pavimentos Asfálticos

13 y 14 de octubre 2015
Lugar: Sonesta Hotel El Olivar
Lima – Perú

EXPOSICIONES:

- Tecnología de TSB con asfalto modificado con polímero SBS como alternativa de conservación de carreteras de alto volumen de tráfico.
- Tecnología y modernidad en la concepción de los pavimentos flexibles.
- Repavimentación asfáltica con geomallas de fibra de vidrio.
- Reciclado de pavimentos, control y ejecución.
- Impacto de la sobrecarga en vehículos pesados sobre la estructura de un pavimento flexible.
- Experiencia del uso de mezclas tibias con asfalto modificado con polímero, en el Perú.
- Implementación y acreditación de laboratorios de control de calidad: experiencia de MOTA-ENGIL PERÚ.
- Tramo experimental para el control del paquete estructural de un pavimento básico usando el deflectómetro liviano de impacto.
- Incidencia de la geometría del trazo de una vía de penetración en la evaluación del índice de regularidad internacional.
- Aprovechamiento de la energía perdida de pavimentos flexibles como recurso energético renovable.
- Tipología de mezclas usadas en Europa.

CONFERENCIAS MAGISTRALES



ALBERTO BARDESI
ORÚE-ECHEVARRÍA
Director Asfaltos Repsol – España



EVERETT CREWS
Director de Investigación y Desarrollo
Mead Westvaco - Asphalt Innovations, USA



HERNÁN DE SOLMINIHAC
TAMPIÉR
(Chile)



MARÍA ELENA HIDALGO PÉREZ
Directora Técnica de
Eiffage Infraestructuras - España

Informes: Secretaría y organización: Rosmar & Asociados S.A.C.
Telf.: (51 1) 4778693 – 4778694 Fax: (51 1) 4774798
Email: inscripciones@rosmarasociados.com

ORGANISMOS DE APOYO:



PATROCINADOR:



CON EL AUSPICIO DE:



INFORME



Intercambio vial en el norte del Perú

El Intercambio Vial de Piura, que estará en funcionamiento en breve plazo, se construye en el tramo vial de la IIRSA Norte con una tecnología novedosa para la región.

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



La obra consiste en un intercambio a desnivel ubicado en la Región Piura, en la intersección de la carretera Panamericana Norte (kilómetro 988) con la Vía Evitamiento Sur de Piura, que hará posible un tránsito más fluido por la Panamericana Norte y la carretera IIRSA Norte, y sobre todo beneficiará a la ciudad de Piura pues, junto con la vía de evitamiento y otras obras que conformarán el anillo vial, contribuirán al retiro del tránsito pesado de la ciudad, y con ello a la reducción de los impactos ambientales asociados: ruido y contaminación.

“Este intercambio vial reducirá el tiempo de viaje y disminuirá los costos de operación vehicular tanto de transporte de pasajeros como de carga, evitando el ingreso de vehículos de carga y de pasajeros por la zona urbana de Piura con lo cual se descongestionará y ordenará el transporte público”, explicó el ingeniero Germán Vanegas Vargas, Gerente General de la Concesionaria IIRSA Norte, empresa de Odebrecht Latinvest. Asimismo, dará mayor seguridad a los usuarios de la vía, mejorando la calidad de vida de los pobladores de la ciudad de Piura.

“Este intercambio vial reducirá el tiempo de viaje y disminuirá los costos de operación vehicular tanto de transporte de pasajeros como de carga, evitando el ingreso de vehículos de carga y de pasajeros por la zona urbana de Piura...”

Los intercambios a desnivel son ampliamente utilizados a nivel mundial en las zonas en las que las condiciones de tráfico hacen que las intersecciones a nivel, ya sean simples o semaforizadas, no atiendan los niveles de seguridad, servicio y confort de los usuarios. La construcción de este paso a desnivel, que es del tipo “trébol de dos hojas”, se inició en diciembre del 2014, y tiene un plazo de 12 meses de trabajo efectivo. Sin embargo, se han redoblado esfuerzos para concluir, de manera anticipada, en octubre del presente año.

Tecnología novedosa

Este es el primer intercambio de la Región construido con suelo mecánicamente estabilizado, una tecnología novedosa para la zona.

Para su óptima ejecución, esta solución contempla la implementación de un taller de prefabricación en el que se elaboraron más de 6000 piezas, entre las que se incluyen las 28 vigas requeridas para los puentes, y otras piezas que se utilizan en los laterales de los muros y sobre los pilares y estribos.

El izaje de las vigas de los puentes, se ejecuta con tecnología de punta, con los más altos estándares de seguridad y en un tiempo bastante corto, dijo el ingeniero Raphael Carpio Pacheco Gerente de Producción y Equipos.

El intercambio vial, está conformado por cuatro ramales que tienen las siguientes características: los ramales 01 y 02 permiten cruzar a desnivel la carretera Panamericana Norte mediante dos puentes; el ramal 03 habilita el tránsito a nivel desde la Vía Evitamiento Sur de Piura a la Carretera Panamericana Norte y el ramal 04 permite el ingreso a nivel desde la Carretera Panamericana Norte a la Vía Evitamiento Sur de Piura.



Características geométricas de Ramales

Los ramales del Intercambio se clasifican como:

- Tipo de vía: Vía Principal
- Según demanda: Segunda clase
- Según condiciones Orográficas: Carretera tipo 1
- Velocidad de diseño: 40Km/h.
- Radio mínimo: 70.00m
- Peralte máximo: 8%

Ramal N° 01:

Presenta 509.60m de longitud, 12m de ancho de calzada de los cuales 3.50m es de ancho de cada carril y 2.50m de berma a cada lado.

Ramal N° 02:

Presenta 509.00m de longitud, 12m de ancho de calzada de los cuales 3.50m es de ancho de cada carril y 2.50m de berma a cada lado.

Ramal N° 03:

Presenta 541.70m de longitud, 12m de ancho de calzada de los cuales 3.50m es de ancho de cada carril y 2.50m de berma a cada lado.

Ramal N° 04:

Presenta 462.80m de longitud, 12m de ancho de calzada de los cuales 3.50m es de ancho de cada carril y 2.50m de berma a cada lado.

El proyecto considera las siguientes construcciones: muros de contención de concreto armado en el ramal 1 en dos tramos contiguos al puente de 112 metros (en el lado este) y 10.50 metros (en el lado oeste), y en el ramal 2 también de dos tramos contiguos al puente de 112 metros (en el lado este) y 12.60 metros (en el lado oeste). Todos presentan barreras new jersey en ambos lados, y son estructuras tipo marco con espesor de

Estructura de Pavimento

El espesor de pavimento de los 04 ramales es:

- Carpeta Asfáltica: 0.10m
- Base: 0.15m
- Sub base: 0.15m

En los ramales N° 01 y 02, en el tramo conformado por muros de concreto armado, el espesor de pavimento está conformado por 0.05m de carpeta asfáltica.



muro de 0.50m. La altura de los muros varía de 8.15m a 10.80m. La cimentación consiste en zapatas rectangulares de 0.80 – 1.00m de peralte. Asimismo, se incluyen muros de suelo reforzado en los ramales N° 01 y 02 en el lado oeste de la obra, que constituyen los dos lados del intercambio. Este tipo de estructura consiste en material de relleno confinado lateralmente por paneles de concreto armado, los cuales se apuntalan uno sobre otro, mediante cojines de apoyo. “Para la construcción de la obra se ha empleado como relleno el material del propio sitio, producto de la excavación, lo cual significó la reducción de tiempos en la ejecución de la obra y disminución del impacto ambiental debido a que se

prescinde del uso de canteras”, explicó el ingeniero Vanegas Vargas. Los paneles cuentan con cintas poliméricas, las cuales trabajan por fricción con el relleno y le aportan resistencia al conjunto. La altura de la estructura varía de 6.30m a 16.70m, con un ancho variable de 14.60 - 18.70 m, y se ha empleado un total de 139,381.00 m3 de material. Los dos puentes vehiculares de concreto armado de una longitud de 43 metros, permiten cruzar a desnivel la vía Panamericana. La estructura de los puentes consiste en apoyos en estribos en los extremos y pilares como apoyo intermedio. La superestructura tiene una loza de concreto armado apoyada sobre pre-lozas y éstas a su vez sobre vigas prefabricadas

post-tensadas, las cuales transmiten la carga hacia los apoyos. El proyecto está a cargo de la Concesionaria IIRSA Norte, empresa de Odebrecht Latinvest, responsable de la rehabilitación, mejora y operación de los tramos viales que conforman el Eje Multimodal Amazonas – Norte, y que recorren las regiones de Piura, Lambayeque, Cajamarca, Amazonas, San Martín y Loreto, posibilitando la interconexión de la costa, sierra y selva del norte peruano con el Brasil a través de la conexión fluvial con el río Amazonas. Al término de la obra, se habrán generado alrededor de 250 puestos de trabajo, habiendo llegado a 400 puestos en los momentos pico de la obra.



TIERRA VIVA
HOTELS
Seize your day



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



TIERRA VIVA MIRAFLORES LARGO



TIERRA VIVA CUSCO SAPHI



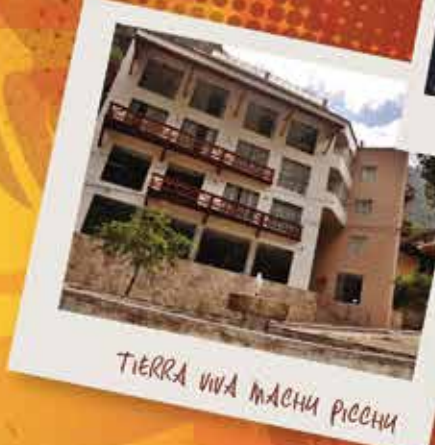
TIERRA VIVA CUSCO PLAZA



TIERRA VIVA PUNO PLAZA



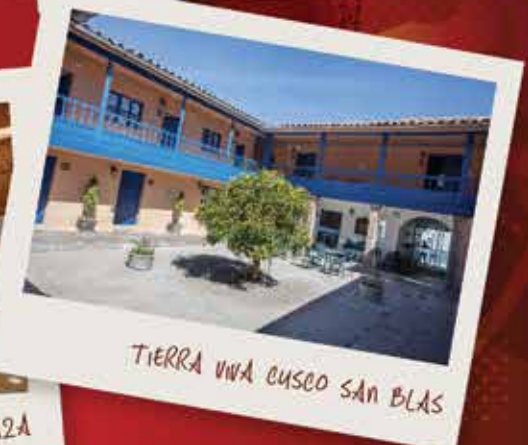
TIERRA VIVA CUSCO CENTRO



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

Mejora de la seguridad vial en carreteras convencionales

(*) ELENA DE LA PEÑA

En algunos países como España, casi la mitad de los atropellos mortales a peatones en vías convencionales se produjo durante la noche, en vías con o sin iluminar.

Los datos de accidentalidad ponen de manifiesto, año tras año, la existencia de una fuerte concentración de accidentes en la red convencional de carreteras, con un solo carril por sentido. Por ejemplo en España, el 76% de los fallecidos y el 79% de los heridos hospitalizados que se produjeron en zonas interurbanas en 2014, tuvieron lugar en accidentes en carreteras de un solo carril por sentido.

En el caso español, esta red viaria supone el 90% del total de red de carreteras (150.000 kilómetros de los 165.000 km de red viaria interurbana). Por ella circula la nada despreciable cifra del 40% del tráfico total que utiliza la red viaria española. Se trata de un extensísimo campo de trabajo, sobre el que es necesario proponer, implantar y controlar acciones específicas orientadas a la reducción del número de accidentes y sus consecuencias.

Es el momento de implantar un Plan Específico de Seguridad Vial en Carreteras Convencionales, que permita reducir el número y la gravedad de los accidentes que se producen en esta extensa red viaria. El Plan debería recoger unas líneas prioritarias de trabajo y debería ser adoptado como una guía por las administraciones titulares de carreteras, de manera que se pudiera generar un entorno más seguro, homogéneo y consistente en la red convencional de carreteras.

Además del esperado efecto positivo de

la potencial reducción de los límites de velocidad en este tipo de vía, se pueden plantear otras líneas de mejora de la seguridad en este tipo de vías, no excluyentes, que propone la Asociación Española de la Carretera:

Línea estratégica 1: Reducir el riesgo de accidente asociado a las características geométricas de la vía y su entorno.

Acción 1.1.: Programa de carreteras que perdonan para la reducción de la accidentalidad por salida de vía.

Justificación: Diferentes análisis de accidentalidad han permitido establecer que

la accidentalidad por salida de vía supone entre un 30 y un 40% del total de accidentes con víctimas y fallecidos en una red viaria.

Solución: Puesta en marcha de un plan específico de carreteras que perdonan los errores de los usuarios con dos objetivos clave: reducir el número de accidentes por salida de vía y reducir sus consecuencias en términos de víctimas. Para el primer objetivo, será necesario reforzar la señalización, realizar alguna adecuación del trazado, alertar al usuario de la llegada de una zona de potencial peligro, etc. Para la reducción de las consecuencias de los

Se propone diseñar un plan de itinerarios seguros para ciclistas, de manera que se les permita la circulación en carreteras convencionales con arcén de suficiente anchura o, si no existe ese arcén mínimo necesario para garantizar la seguridad.



El uso de la bicicleta como modo de transporte ha aumentado significativamente en los últimos años. Es preciso dar respuesta a este interés.

→ accidentes por salida de vía, se deben eliminar los obstáculos en los márgenes de las vías, reducir las pendientes laterales para que los vehículos puedan recuperar el control en caso de salida de vía y, donde esto no sea posible, instalar los sistemas de contención apropiados para todos los usuarios.

Efectividad: Se puede asumir una posible reducción de la accidentalidad y el número de víctimas mortales del 30% (Elvik, 2013).

Acción 1.2.: Programa de mejora de la seguridad en las intersecciones.

Justificación: Se puede asumir que la totalidad de los accidentes en intersecciones en vías interurbanas se producen en carreteras convencionales.

Solución: Realización de una inspección de seguridad vial de todas las intersecciones de la red viaria convencional, con vistas a la mejora de los accesos, aumento de la visibilidad, adecuación de ángulos entre las carreteras que convergen en las intersecciones, optimización de las pendientes en las vías que acceden en la intersección, mejora de la señalización, etc.

Efectividad: Con carácter general, considerando todas las referencias disponibles (Elvik, 2013), se puede asumir que es viable reducir la accidentalidad en intersecciones en un 10%.

Acción 1.3.: Programa de reducción del riesgo de choque frontal y fronto-lateral: carreteras 2+1.

Justificación: No es realista asumir que, con vistas a mejorar la seguridad, se puede transformar la red convencional en red de gran capacidad. Además de la necesidad de enormes recursos económicos, no estaría justificado por su nivel de tráfico, y tendría impactos negativos a nivel ambiental y social. Sin embargo, si se pueden proponer soluciones innovadoras en determinados itinerarios con riesgo de accidentalidad elevado.

Solución: En determinados itinerarios con tráficos elevados, donde no se vaya a implantar una medida de mayor envergadura, se puede proponer la construcción de un tramo de las llamadas carreteras "2+1", como paso intermedio entre las vías de gran capacidad y las vías conven-

cionales, donde cada sentido de circulación alterna durante determinados kilómetros la existencia de un carril adicional. De esta manera, se reduce drásticamente el riesgo de choque frontal y frontolateral, que se producen mayoritariamente en adelantamientos.

Efectividad: Según estudios realizados en Suecia (VTI, 2009), país con una larga trayectoria en la implantación de esta medida, se pueden alcanzar reducciones de accidentalidad de hasta el 75%, respecto a los accidentes que se producen en vías convencionales.

Línea estratégica 2: Generando un entorno más seguro para la coexistencia de tráfico heterogéneos.

Acción 2.1.: Plan de reducción de desplazamientos peatonales nocturnos en vías convencionales.

Justificación: En algunos países como España, casi la mitad de los atropellos mortales a peatones en vías convencionales se produjo durante la noche, en vías con o sin iluminar. Las carreteras convencionales no son un entorno seguro para los peatones en condiciones de baja luminosidad, por lo que es preciso limitar su presencia, en la medida de lo posible.

Solución: Se propone proporcionar a los usuarios alternativas de transporte cuando sea posible (por ejemplo transporte público o transporte compartido), al tiempo que se realiza una fuerte labor de difusión y concienciación a los habitantes de los municipios más pequeños, para evitar los desplazamientos a pie durante la noche. La provisión de iluminación mejora a priori la identificación de los peatones por parte de los conductores de vehículos motorizados, pero las cifras de accidentalidad por atropello ponen de manifiesto niveles de riesgo similares en vías iluminadas y vías sin iluminar. En último término, si los desplazamientos de peatones son inevitables, deben realizarse siempre con prendas reflectantes para mejorar la capacidad de ser vistos por otros usuarios.

Efectividad: Se estima que podrían reducirse a la mitad los atropellos bajo estas condiciones.

Acción 2.2.: Plan de definición de itinerarios seguros para ciclistas.

Justificación: Los atropellos de peatones son muy frecuentes en los entornos urbanos y periurbanos; la gran mayoría de los que son atropellados en zona interurbana, fallecen en carreteras de un carril por sentido. El uso de la bicicleta como modo de transporte, deporte ocasional o profesional y por ocio ha aumentado significativamente en los últimos años. Es preciso dar respuesta a este interés, pero garantizando la seguridad de todos los usuarios.

Solución: Se propone diseñar un plan de itinerarios seguros para ciclistas, de manera que se les permita la circulación en carreteras convencionales con arcén de suficiente anchura o, si no existe ese arcén mínimo necesario para garantizar la seguridad, sólo en aquellas vías con un tráfico no muy elevado (por ejemplo, inferior a 1000 vehículos al día) y con una baja presencia de vehículos pesados (por ejemplo, inferior al 5%). Esta propuesta, que es una primera aproximación, debería ser objeto de un análisis más exhaustivo. En el caso de que no existieran vías que cumplieran con estas condiciones en determinados territorios, podría incluso valorarse, en casos de problemas de seguridad demostrados, el cierre de alguna vía para los usuarios motorizados en unos días y para los ciclistas en otros.

Efectividad: Se estima que podrían reducirse a la mitad los atropellos a ciclistas.

Línea estratégica 3: Reforzar las estrategias de control del cumplimiento de las normas.

Justificación: Ante la presencia de tecnología de control y fuerzas policiales para garantizar el cumplimiento de las normas en la red de gran capacidad, es frecuente que se utilice la red convencional, especialmente en tramos de bajo tráfico, para eludir controles de velocidad, de consumo de alcohol y drogas o de cualquier otro tipo.

Solución: Aumentar la presencia policial en vías convencionales, de manera aleatoria, para evitar conductas recurrentes de incumplimiento de las normas en la red convencional de carreteras, al tiempo que se consiga el máximo aprovechamiento de la tecnología móvil de control de velocidad.

Efectividad: A falta de datos concretos sobre el alcance del refuerzo en el control del cumplimiento de las normas que podría realizarse, se puede asumir una campaña exhaustiva, con una reducción de las víctimas mortales del 15-35%.

En algunos países como España, casi la mitad de los atropellos mortales a peatones en vías convencionales se produjo durante la noche, en vías con o sin iluminar.



↑ Análisis de accidentalidad han permitido establecer que la accidentalidad por salida de vía supone entre un 30 y un 40% del total.

Si se consideran todas las medidas valoradas anteriormente, se puede comprobar que existe un amplio campo de trabajo con la implantación del Plan Específico de Seguridad Vial en Carreteras Convencionales.

Se trata de una aproximación que sería preciso afinar posteriormente, dado que la efectividad de estas medidas tendrá, sin duda, solapes entre ellas, lo que reduciría la potencialidad de reducción de la accidentalidad. Otro aspecto sobre el que sería necesario profundizar sería la realización de un análisis coste-beneficio, de manera que se pudieran priorizar las medidas a implantar, ejecutando en primer lugar aquéllas que permitieran una mayor reducción de accidentalidad con mínimo coste. Indudablemente, cualquier actuación de las que se proponen requiere recursos económicos para su implantación; en esta valoración será necesario tener en cuenta el ahorro que supone la reducción de víctimas de accidentalidad, no sólo en términos sociales, sino también económicos.

La efectividad de las mencionadas lí-

Otro aspecto sobre el que sería necesario profundizar sería la realización de un análisis coste-beneficio, de manera que se pudieran priorizar las medidas a implantar, ejecutando en primer lugar aquéllas que permitieran una mayor reducción de accidentalidad con mínimo coste.

neas estratégicas se vería incrementada con las políticas globales del fomento de conductas más seguras por parte de los usuarios, con campañas de concienciación y divulgación, que se vienen aplicando desde hace años, en formatos y enfoques diferentes. Sin lugar a dudas, la

actitud del usuario, influenciada en mayor o menor medida por el entorno que le rodea, es un aspecto clave de la reducción de la accidentalidad.

Como medida global de mejora de la seguridad en vías convencionales, sería preciso proponer la implantación obligatoria de las herramientas como las evaluaciones de impacto en seguridad vial para la fase de planificación, las auditorías de seguridad vial en la fase de diseño y las inspecciones de seguridad vial y la gestión de la seguridad en la red existente (mediante identificación y gestión de Tramos de Concentración de Accidentes y Tramos de Alto Potencial de Mejora).

Se trata, sin duda, de un ámbito prioritario de trabajo para la mejora de la seguridad de las carreteras. Una reducción sostenida de la accidentalidad en el tiempo requiere la implantación de propuesta innovadoras, mejoras en todos los ámbitos y propuestas específicas adaptadas a los problemas concretos que se identifiquen. ●

(*) Subdirectora General Técnica, Asociación Española de la Carretera.

Geometría de losas del pavimento rígido en las alturas



Los severos efectos climáticos que se presentan en las zonas de altura, originan problemas tanto en los pavimentos flexibles como rígidos, motivo por el cual se han estudiado estos fenómenos en pavimentos construidos en zonas similares de otros países, dando como resultado la necesidad de utilizar soluciones de ingeniería más adecuadas, lo que implica el dimensionamiento de las losas para el caso de los pavimentos rígidos, además de procesos constructivos que minimicen los efectos del alabeo.

El análisis del dimensionamiento de las losas en los pavimentos rígidos, utiliza programas basados en el método de los elementos finitos, para la determinación de tensiones en las losas de hormigón, considerando las posiciones más críticas para la ubicación de carga, estableciendo además la aplicación de sobrecargas importantes, sumado a la influencia del severo clima de la zona alta, expresada como un alabeo constructivo extremo.

La metodología establece que el dimensionamiento de los espesores de las losas sea obtenido mediante la metodología AASHTO, adecuando la geometría de las losas, de manera que se verifiquen tensiones razonables en las losas en función a los diversos modelos de fatiga desarrollados para pavimentos rígidos, con la finalidad de que la vida de diseño del pavimento rígido se extienda lo más posible.

Antecedentes

Los diseños de pavimento rígido realizados en el Perú normalmente se elaboran mediante el método AASHTO 93. Éste es uno de los métodos de diseño más utilizados a nivel mundial. Este método, basado en ensayos a escala real en Estados Unidos, tiene la limitación de no considerar directamente los efectos de las variaciones climáticas, que en zonas de altos gradientes térmicos pueden producir esfuerzos adicionales en las losas. Estos aspectos deben ser considerados mediante la aplicación de métodos numéricos como los elementos finitos para la determinación de tensiones.

El fenómeno del Alabeo en pavimentos rígidos ha sido objeto de diversos estudios a fin de determinar características de diseño que permitan minimizar los riesgos que se producen por una combinación entre los elevados gradientes térmicos de las regiones de alto andinas, unidos a la sequedad ambiental que originan un alabeo cóncavo que podría ser exacerbado por descuidos o malas prácticas constructivas. La combinación de estos factores puede originar un alabeo constructivo (permanente) que, combinado con un alabeo térmico cóncavo (superficie más fría) y sobrecargas vehiculares podría originar tensiones no previstas en el pavimento.

Metodología usada

En el presente artículo se desarrolla la metodología para el predimensionamiento de las losas con el empleo del software de

elementos finitos "EverFE", con el que se puede demostrar que la geometría de las losas tiene una importante incidencia en las tensiones resultantes, de modo que con el uso de losas más pequeñas se presentan menores tensiones. Las tensiones máximas de tracción determinadas por el modelo, puesto que el pavimento está sujeto a la aplicación de cargas repetitivas, deben compararse con modelos de fatiga probados para establecer la idoneidad del diseño.

Para ello, las tensiones resultantes del uso de elementos finitos, se comparan con los esfuerzos admisibles a través del modelo de fatiga de la Portland Cement Association. Es importante recalcar que los métodos de diseño de AASHTO en actual vigencia, no permiten considerar los efectos de alabeo constructivo de las losas, aspectos que han sido incorporados en la nueva Guía AASHTO Mecánica – Empírica, pero para condiciones climáticas típicas de Estados Unidos, motivo por el cual la adopción de métodos tensionales para la determinación de esfuerzos es la única vía posible de análisis para la consideración de alabeos constructivos elevados que se presentan en las zonas de altura. Adicionalmente, se debe considerar el

efecto de camiones sobrecargados, que en los diseños no son tomados en cuenta pero que normalmente circulan en las redes viales de nuestro país ya que carecemos de un adecuado sistema de control de cargas, motivo por el cual se debe considerar una sobrecarga máxima del 30% de la carga legal siendo éste el caso más desfavorable.

Objetivo

El presente artículo tiene la finalidad de analizar las tensiones presentes en diferentes geometrías de losas de pavimento rígido. Se verificará inicialmente los esfuerzos en las losas considerando la geometría que usualmente se construyen en el Perú de 4.50 x 4.00 m, comparándolas con las obtenidas para la geometría propuesta a construirse de 2.50 metros de ancho con juntas transversales cada 3.00 metros, mediante el estudio de los esfuerzos generados por efectos ambientales, alabeo constructivo y el efecto de un tracto camión sobrecargado, tal como se puede observar en la **Figura 1**. Adicionalmente se debe indicar si las bermas son o no de concreto, y se debe tomar en consideración el beneficio de

MARCO MONTALVO (*)
MARCELO ALFARO (**)

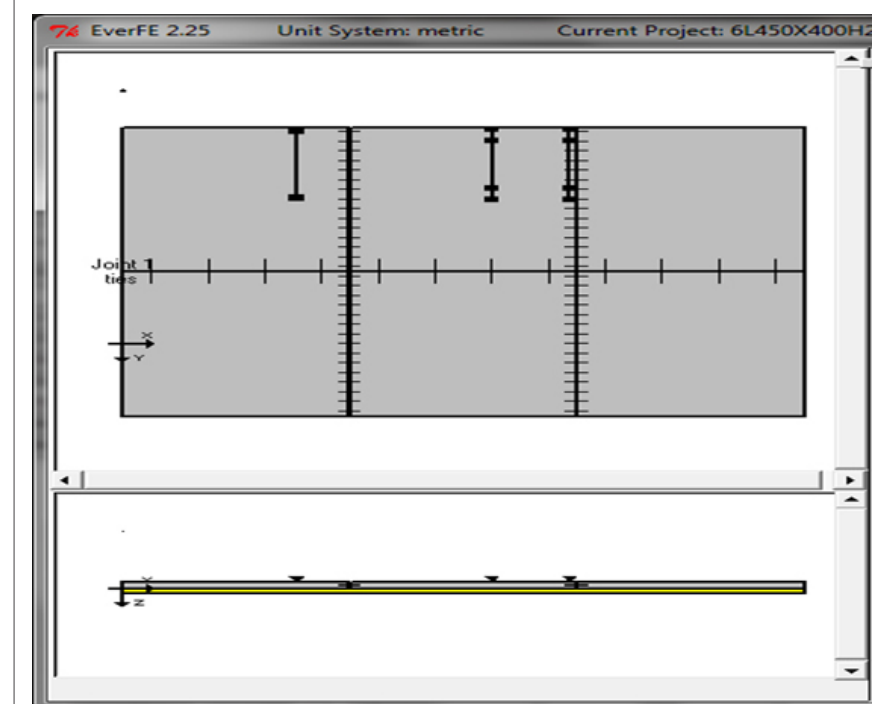


Figura 1 Posicionamiento del tracto camión en las losas predimensionadas.

→ incluir bermas de 1.20 m incorporadas como parte de las losas de las fajas exteriores, de manera que la junta longitudinal no coincidiría con el ancho del carril pero sería demarcada por pintura y tachas reflectivas.

Consideraciones teóricas

Conceptos sobre el efecto de alabeo.- La influencia del clima en los pavimentos rígidos se manifiesta mediante el "alabeo constructivo" y el "alabeo por temperatura y humedad". Estos últimos son variables a lo largo del día y pueden incrementar o reducir el alabeo total (suma de ambos). La deformación de las losas, en las condiciones extremas, se expresa mediante un "gradiente equivalente", que viene a ser la diferencia de temperatura entre las caras superior e inferior de una losa que aplicada a la misma en su estado plano, modela las condiciones extremas de deformación debidas tanto al alabeo constructivo así como las variaciones térmicas y por humedad.

En este sentido, las solicitaciones ambientales y el alabeo constructivo, se expresan como un gradiente térmico interno que se deduce a partir de la deformación total que puede experimentar el hormigón, vale decir por: Alabeo Constructivo por condiciones térmicas y retracción; Alabeo por diferencia de temperatura entre la cara superior y la inferior y Alabeo por diferencia de humedad entre ambas caras, tal como se puede apreciar en la **Figura N° 2**

En este sentido, las solicitaciones ambientales y el alabeo constructivo, se expresan como un gradiente térmico interno que se deduce a partir de la deformación total que puede experimentar el hormigón, vale decir por: Alabeo Constructivo por condi-

Los diseños de pavimento rígido realizados en el Perú normalmente se elaboran mediante el método AASHTO 93. Este es uno de los métodos de diseño más utilizados a nivel mundial. Este método, basado en ensayos a escala real en Estados Unidos, tiene la limitación de no considerar directamente los efectos de las variaciones climáticas.

ciones térmicas y retracción; Alabeo por diferencia de temperatura entre la cara superior y la inferior y Alabeo por diferencia de humedad entre ambas caras.

El alabeo constructivo se puede explicar desde el punto de vista de la temperatura y de la retracción. En cuanto a la temperatura, si el hormigón se vacía a tempranas horas de la mañana, la cara superior estará expuesta a la radiación solar y al propio calor de hidratación del hormigón y por tanto alcanzará una temperatura más elevada que la parte inferior de la losa. Esto puede ocurrir durante varias horas mientras el hormigón se encuentra en estado líquido o semisólido sin capacidad aún de resistir tensiones. Así el hormigón alcanza su punto de fraguado final con la cara superior muy caliente y la inferior más fría, y endurece con esa diferencia.

Si la diferencia de temperaturas en ambas caras es notable, el material fragua con geometría plana (en contacto completo con la sub-base) pero con una diferencia de temperatura interna. Cuando la super-

ficie se enfría y llega a igualarse con la temperatura de la cara inferior, la losa se alabea hacia arriba generando una curvatura cóncava denominada "alabeo negativo". Durante las primeras horas del día siguiente, cuando la temperatura en la cara superior es menor (más fría) que en la cara inferior las esquinas se levantan aún más, incrementando el alabeo negativo.

Si bien éste fenómeno tiene su importancia especialmente en climas extremos con alta radiación solar, la diferencia de temperatura tiene mayor importancia y se debe principalmente al hecho de que en las zonas secas y de altura se produce una mayor evaporación en la superficie de las losas manteniéndose la humedad en la parte inferior. Dependiendo del tipo de curado y el de acabado en la superficie del hormigón, (un elevado contenido de pasta o agua superficial al momento del frotachado agravan este aspecto), al secarse más la parte superior que la inferior se produce una diferencia en la retracción del hormigón, lo que origina nuevamente un alabeo negativo con las puntas hacia arriba. A medida que pasa el tiempo, si las condiciones de curado no son óptimas, la cara superior tendrá mayor retracción y por tanto se generará un mayor alabeo constructivo. Cuando se tiene un significativo incremento de humedad en la parte superior este fenómeno puede ser parcialmente reversible, pero nunca en su totalidad.

Los aspectos que influyen en la incidencia de este fenómeno son los siguientes:

Materiales

- Granulometría de la mezcla
- Coeficiente de dilatación de los agregados
- Composición química del cemento

Procesos constructivos

- Cantidad de pasta en la mezcla
- Método de curado
- Agua excesiva en la superficie
- Relación agua/cemento muy elevada
- Terminado excesivo de la superficie

Medioambiente

- Evaporación del agua de la mezcla (influye la altura y humedad relativa del ambiente)
- Horario de pavimentación
- Cambios drásticos de clima durante el vaciado y las primeras horas de vida del pavimento

El efecto del alabeo constructivo sumado a un posible descuido de los procesos constructivos puede generar esfuerzos



adicionales en la losa, que combinado con las cargas vehiculares, puede producir tensiones significativas que no pueden ser previstas en el modelo de diseño AASHTO original.

Tal como se ha mencionado en líneas precedentes, la única forma de poder modelar el alabeo constructivo es cargando la losa con un gradiente térmico equivalente, de tal magnitud, que deforme la losa de manera que replique una medición promedio de valores en campo. Este gradiente equivalente, considera efectos de gradiente térmico interno al momento del vaciado, de retracción por secado y diferencias de temperatura día - noche.

Sustento teórico de Software everfe

La modelación por medio de elementos finitos, fue realizada en el programa EverFE 2.23, desarrollado por el Dr. Bill Davids, Profesor Emérito de la Universidad de Maine.

Este programa permite el análisis y la obtención de esfuerzos y desplazamientos, por medio de elementos finitos tridimensionales, que simulan el comportamiento del pavimento rígido con juntas, bajo la acción de cargas en ejes y efectos térmicos del clima. La introducción de datos para el desarrollo del modelo y la visualización de resultados, es posible gracias a la interfase gráfica interactiva, el proce-

samiento del modelo se lo ha realizado en lenguaje C++.

EverFE permite modelar hasta 9 losas en una configuración de máximo 3 por 3, pudiendo considerarse una fila extrema como berma, cuya junta puede ser o no atada mediante barras de amarre longitudinal.

Se pueden considerar hasta 3 capas de subbase granular, permitiendo que la superior pueda ser modelada como adherida o no adherida a la losa. El apoyo de todo el sistema se realiza sobre una fundación de tipo "Líquido denso", que puede ser considerada bajo tensión o sin tensión (similar a una fundación tipo

El programa EverFE puede considerar la transferencia de corte que ocurre por la fricción y la trabazón de agregados que existe entre la losa y la capa base, especificando la rigidez de la unión y un desplazamiento por deslizamiento inicial.

Winkler). Al analizar el modelo en base a la fundación bajo tensión, se incorporan las precompresiones generadas por el peso propio de la losa y por consiguiente las deflexiones verticales, que serán consideradas junto a las producidas por los efectos térmicos y por las cargas, cuando estas últimas actúen. Para modelar la subrasante de tipo líquido denso, se necesita como dato su rigidez. El concepto está basado en la teoría de Westergaard ampliamente empleada en programas computacionales, que considera la relación entre fuerza y deflexión por medio de resortes elásticos.

Las barras de transferencias de carga (dowels) pueden ser ubicadas con precisión a lo largo de las juntas transversales. En lo que a cargas se refiere, se pueden definir distintas configuraciones de ejes, en cualquier posición sobre las losas siguiendo el sentido del tráfico. Los efectos térmicos y de humedad a través del espesor de la losa, como también el acortamiento del hormigón, pueden ser simulados mediante gradientes térmicos equivalentes lineales, bilineales y trilineales. Las mallas para la discretización de los elementos finitos son rectilíneas, considerándose un mínimo de elementos para las losas de interés de 12 por 12 que tienen que cumplir una relación geométrica menor a 5.

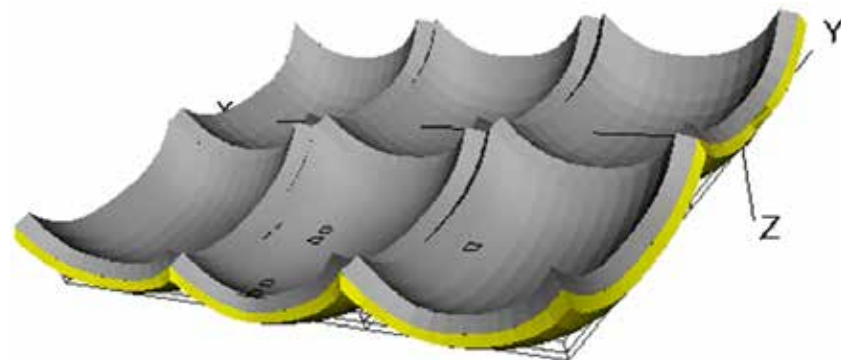


Figura 2: Desplazamientos que puede sufrir las losas por efecto del alabeo.

→ Para garantizar la compatibilidad entre base y losa en el plano x-y, la misma malla generada para la losa es aplicada en las capas inferiores. En lo que se refiere al eje z del espesor de las capas, se pueden generar diversos niveles de la misma malla. La losa y las capas subyacentes son tratadas como un medio tridimensional, linealmente elástico e isotrópico y para su análisis, el modelo emplea elementos cuadráticos serendipetos de 20 nodos ("brick"), la fundación de tipo líquido denso es simulada mediante elementos cuadráticos planos de 8 nodos y se incluyen elementos de interfase cuadráticos de 16 nodos, para implementar la transferencia de corte en la junta por la trabazón de agregados y la transferencia de corte entre la base y la losa. (ver figura 3.)

Todos los elementos cuentan con 8 nodos en las caras principales, de manera que al mezclarse o juntarse comparta nodos, garantizando la compatibilidad entre los elementos.

El programa EverFE puede considerar la transferencia de corte que ocurre por la fricción y la trabazón de agregados que existe entre la losa y la capa base, especificando la rigidez de la unión y un desplazamiento por deslizamiento inicial. Cuando se analiza el alabeo se da una pérdida de cortante producida por la separación entre el pavimento y la base, por lo que se puede asumir que no existe cortante y que las variables mencionadas son iguales a cero.

De la misma forma, el elemento de interfase puede simular de forma lineal o no lineal, la transferencia de carga en las juntas por trabazón de agregados, ya sea en función a la rigidez que se quiera asumir para el análisis, la cual está en función a la eficiencia de transferencia de la junta (lineal); o en base a la variación de apertura de la junta en el tiempo, que requiere de datos adicionales que dependen del tipo de cemento, tipo y forma de los agregados, como del grado de deterioro de la junta (no lineal).

Las barras de transferencia (dowels) de las juntas transversales y de amarre longitudinales, son modeladas mediante el acoplamiento de elementos de flexión de 3 nodos embebidos con elementos convencionales tipo viga de corte de 2 nodos en la apertura de la junta (Figura 3). Estos elementos permiten el cálculo de los esfuerzos internos en las barras.

Las cargas de rueda son aplicadas a la losa como un conjunto de fuerzas verticales concentradas en los nodos, equi-

valentes a la presión distribuida uniforme generada por la llanta.

El software considera los efectos térmicos y de acortamiento elástico como predeformaciones calculadas en base a la temperatura y al coeficiente de dilatación térmica, para luego transformarlas en cargas aplicadas a los nodos y poder así resolver las ecuaciones. Los elementos de 20 nodos son capaces de deformarse linealmente sobre su volumen, es por éstos que cuando se consideran gradientes bilineales o trilineales las mallas a través del espesor de la losa deben ser refinadas, para que un elemento independiente registre la deformación de su temperatura asociada.

El método empleado por el programa

para la resolución del modelo, consiste esencialmente en el método de Newton, que actualiza mediante iteraciones, las limitaciones o condiciones de contacto de cada nodo.

Básicamente, la matriz de rigidez del sistema es actualizada mediante iteraciones, a los nuevos desplazamientos, en función a las fuerzas aplicadas y a las fuerzas remanentes resultantes de cada iteración, hasta que estas últimas sean igual a cero y el sistema converja.

El análisis de los resultados se hace efectivo en la visualización gráfica de las tensiones, desplazamientos de las distintas capas, fuerzas y momentos internos generados en las barras, tal como se puede apreciar en la Figura 4.

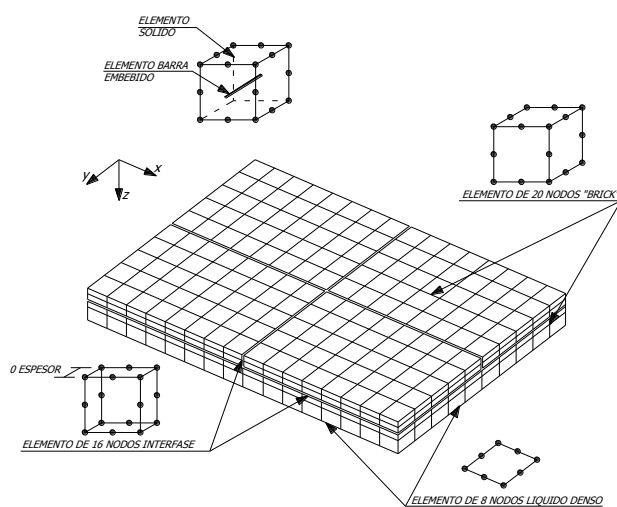


Figura 3. Elementos finitos empleados por el software EverFE.

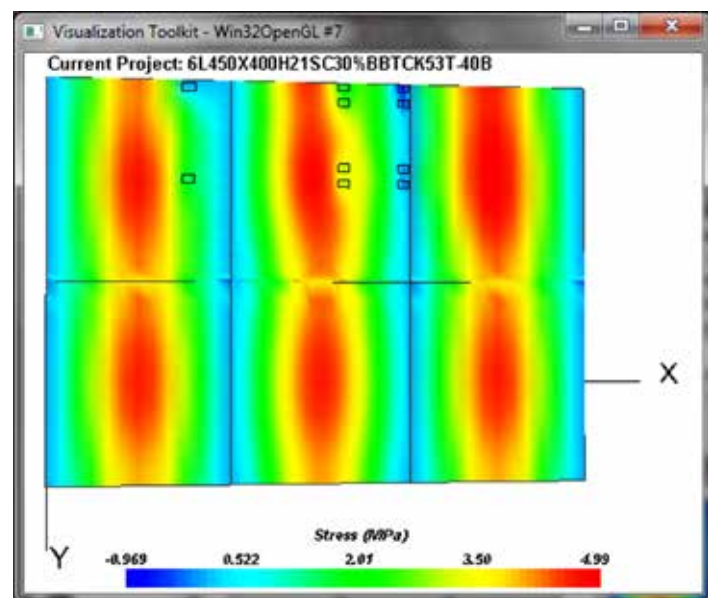


Figura 4 Tensión máxima de tracción en dirección X en la superficie de la losa 4.99 MPa.



Conclusiones y recomendaciones

- El análisis de tensiones que se originan en las losas se debe realizar con herramientas basadas en elementos finitos mediante un modelo tridimensional. Con estos modelos se pueden lograr resultados con una adecuada precisión de las tensiones solicitantes en las losas de hormigón.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se puede afirmar que las losas semicortas, gracias a un adecuado diseño geométrico, permiten la optimización del espesor con respecto a las losas tradicionales, ya que las tensiones generadas por las cargas vehiculares y ambientales son notablemente menores.
- Se han realizado las verificaciones con un gradiente de -40°C , considerado un valor extremo, pero posible de ser alcanzado en las zonas altas a fin de tomar en cuenta el efecto del alabeo.
- El gradiente térmico establecido de -40°C comprende el alabeo constructivo; alabeo por temperatura, retracción y cambio de humedad, lo que significa que estos cuatro factores han sido tomados en cuenta en el modelo, con un valor extremo que podría llegar a presentarse sólo en las horas más frías y en la época más seca del año, siendo por tanto la situación extrema.
- La alternativa de losas semicortas planteada es muy competitiva tanto técnica como económicamente, de acuerdo a

las diversas experiencias de pavimentos en carreteras realizadas en zonas de altura en la Región tal como Bolivia, Chile, Argentina.

- El análisis de elementos finitos en estas losas demuestra que las tensiones máximas para un camión de 3 ejes (con sobrecargas) se producen para un camión estacionado sobre la berma y con la rueda en esquina, situación que permite, sin embargo, un adecuado número de repeticiones de carga.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede afirmar que las losas semicortas, gracias a un adecuado diseño geométrico, permiten la optimización del espesor con respecto a las losas tradicionales, ya que las tensiones generadas por las cargas vehiculares y ambientales son notablemente menores.

- El caso normal de un camión circulando sobre el ancho previsto para la faja de rodadura origina tensiones bajas, menores al 50% de la tensión admisible, lo que según el modelo de PCA permitiría un "infinito número de repeticiones". En el caso de pavimentos el término "infinito" no es real debido a la degradación de materiales, efectos del drenaje, heladas, etc. sin embargo, puede afirmarse que la falla por fatiga permitirá superar la vida esperada de diseño de 20 años.
- El empleo de sonorizadores aislando 50 cm en el borde de la losa, permitirá asegurar que la situación de un camión detenido sobre la esquina se producirá únicamente cuando un vehículo se encuentre estacionado, siendo éste un elemento que permite reducir las tensiones en el pavimento además de brindar seguridad vial alertando a los conductores que se encuentran cerca del borde del pavimento.
- El espaciamiento entre barras de transferencias (dowels), mantiene múltiplos de 30 cm a fin de que se pueda utilizar cualquier dispositivo de inserción automática de barras presente en la mayoría de las pavimentadoras deslizantes, siendo altamente recomendable el uso de insertadores automáticos de barras (DBI).

(*) MSc Ingeniero, CESEL.

(**) Ingeniero, IBCH



La cara menos conocida del HDM-4

La herramienta de gestión de infraestructura HDM-4 (Highway Development Management), es probablemente la aplicación computacional más conocida internacionalmente en el ámbito de la gestión y evaluación de proyectos de inversión de redes de carreteras, lo cual le ha permitido convertirse en un referente ampliamente conocido y empleado por quienes trabajan en este campo.

MAURICIO SALGADO TORRES (*)

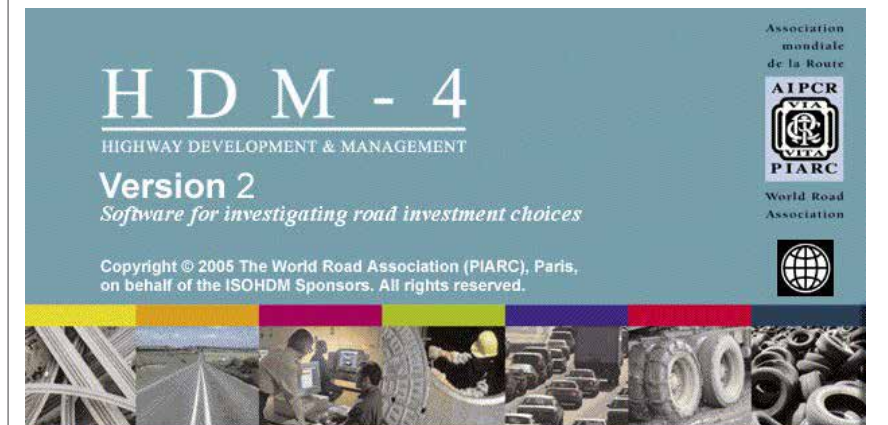
El HDM-4 no solamente es un software sino que en muchos casos, para lograr su implementación y aplicación implica que dicho proceso, se haya transformado en la metodología de desarrollo y sustento de algunos sistemas de gestión o en la metodología de análisis y evaluación de información de gestión vial empleada en varios países.

Desde hace cerca de quince años cuando apareció la primera versión del HDM-4 e incluso desde mucho tiempo antes cuando se comenzaron a desarrollar tanto su estructura funcional y como los modelos y herramientas que lo componen, quienes conocen y se desenvuelven en el campo de la gestión de la infraestructura vial, les es definitivamente familiar la herramienta y lo que de ella se deriva, como análisis y reportes siguiendo la metodología y los protocolos de parametrización que la implementación del software fue estableciendo en el tiempo.

A pesar del amplio reconocimiento con que cuenta la herramienta por parte de agencias viales públicas y privadas, así como de profesionales y especialistas que utilizan desde hace mucho tiempo el HDM-4, un hecho cierto es que en muchos casos no se emplea y utiliza en todo su dimensión, desaprovechando muchas veces su enorme potencial. En la mayoría de los casos este desaprovechamiento se debe o bien al desconocimiento de las herramientas con que cuenta el software, más allá de las usadas comúnmente, o porque en el ámbito de su aplicación se sub-utiliza el programa empleándolo solamente para analizar deterioros con miras a calendarizar programas de intervención o llegando a lo sumo a efectuar evaluaciones sociales de proyecto.

El punto es que si bien, tanto analizar el deterioro de los pavimentos, como evaluar técnica y económicamente escenarios y proyectos de inversión, en un principio constituía algunas de las necesidades que motivaron al desarro-

llo y adopción del HDM-4 por parte de las agencias viales y organismos relacionados con infraestructura en muchos países, lo cierto es que el HDM-4 posee muchos más elementos que amplían su horizonte de aplicación.



Year	Hydrocarbon HC	Carbon monoxide CO	Nitrogen oxide NOx	Sulphur dioxide SO2	Carbon dioxide CO2	Particulates PM	Lead Pb
2008	1242	637	19.98	0.09	1327.00	2.20	0.00
2009	1236	637	19.98	0.09	1326.70	2.20	0.00
2010	1230	637	19.97	0.09	1326.20	2.20	0.00
2011	1225	637	19.96	0.09	1325.70	2.20	0.00
2012	1220	637	19.95	0.09	1325.20	2.20	0.00
2013	1215	637	19.94	0.09	1324.70	2.20	0.00
2014	1210	637	19.93	0.09	1324.20	2.20	0.00
2015	1205	637	19.92	0.09	1323.70	2.20	0.00
2016	1200	637	19.91	0.09	1323.20	2.20	0.00
2017	1195	637	19.90	0.09	1322.70	2.20	0.00
2018	1190	637	19.89	0.09	1322.20	2.20	0.00
2019	1185	637	19.88	0.09	1321.70	2.20	0.00
2020	1180	637	19.87	0.09	1321.20	2.20	0.00

Figura 1: HDM-4 Versión 2

→ Para muchos de los usuarios y seguramente la inmensa mayoría de los receptores de resultados e informes de análisis de información generados con el uso y aplicación del HDM-4, normalmente interpretan que el alcance y capacidad de la herramienta se limita a esos productos; incluso en algunos casos por desconocimiento de la estructura y fundamento con la cual fue concebido el HDM-4 puede percibirse que los resultados eventualmente no responden a la expectativa, cuando en realidad pudo haber una inadecuada alimentación y aplicación del software, en función del resultado esperado. Un caso típico de esta situación se presenta cuando se pretende un detalle y análisis a nivel de proyecto habiendo hecho una alimentación a nivel de red del HDM-4, situación que es más un error de quien aplica el programa que de la herramienta como tal. **Figura 1.** Independiente de lo anterior, el HDM-4 cuenta con módulos, herramientas y reportes que muchas veces son descono-

(...) el HDM-4 cuenta con módulos, herramientas y reportes que muchas veces son desconocidos pero que si se utilizaran ampliarían el horizonte de posibilidades de la herramienta más allá de lo que actualmente se explota (...)

cidos pero que si se utilizaran, ampliarían el horizonte de posibilidades de la herramienta más allá de lo que actualmente se explota y emplea por parte de la mayoría de los usuarios. Algunas de estas herramientas y módulos están desde la primera versión del software y otras se fueron incorporando con la aparición y desarrollo de la versión 2 del HDM-4, que a la fecha del presente artículo la versión vigente es la 2.09 del software.

Dentro de las novedades que se describirán en el presente artículo se encuentran, entre otras, lo referente al análisis y reportes de emisiones y consumos energéticos, los análisis multicriterio, los análisis de gestión de activos, los análisis de sensibilidad entre otros temas.

Análisis y reportes

Uno de los temas que a lo largo de los años ha pasado bastante desapercibido es el hecho de la capacidad que tiene el HDM-4 de estimar los valores correspondientes a las emisiones que cada tipo de vehículo de la flota vehicular genera a lo largo del periodo de análisis, producto de las condiciones y velocidad de circulación, la geometría del camino y por supuesto de las características propias de cada vehículo.

Aunque a lo que este aspecto se refiere, el software solamente entrega cantidades de toneladas de emisiones de gases y partículas (HC, CO, NOx, SO2, CO2, Pb

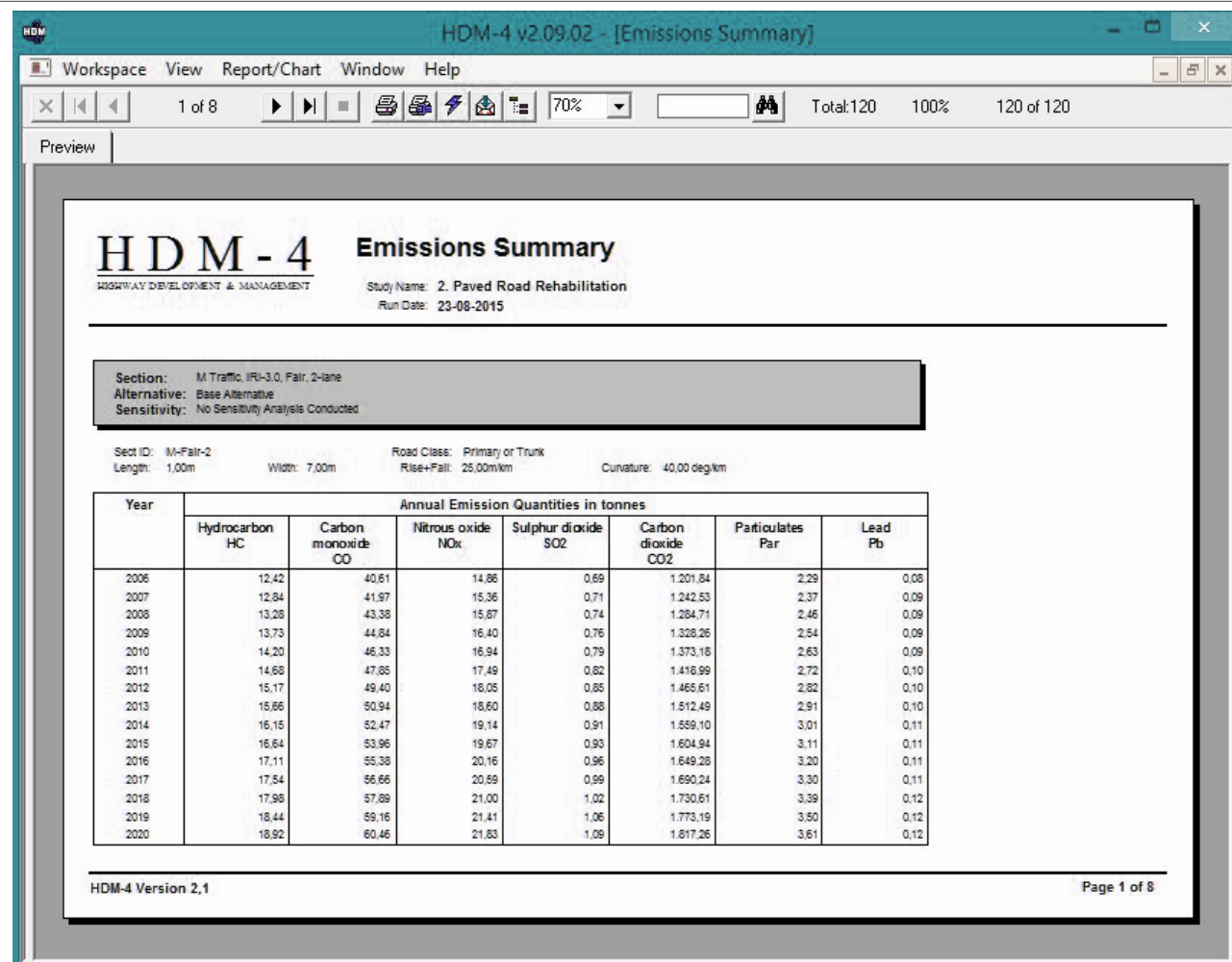


Figura 2: Reporte Resumen de Emisiones del HDM-4

y Material Particulado), estos resultados pueden ser útiles o bien desde la perspectiva de las comparaciones de escenarios o como insumo de herramientas capaces de convertir dichas cantidades en un componente valorizado en términos monetarios, de modo que pueda hacer parte de una evaluación económica. De otro lado, HDM-4 también desde su versión original es capaz de estimar los consumos energéticos que pueden llegar a generar diferentes estándares de trabajo y escenarios comparativos de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos, a partir de valores de consumo energético asignados por el usuario del software que alimenta el programa entregando a cada tipo de estándar de trabajo la cantidad de Mega Julios (MJ) que se consumirían por su ejecución en un momento determinado del periodo de análisis que esté siendo evaluado. Al igual que con las emisiones

el HDM-4 solamente entrega cantidades de MJ consumidos, de modo que este insumo sea aprovechado en otra herramienta de análisis para estimar el efecto de este tópico en términos monetarios. A pesar de no entregar un valor monetario específico por parte del HDM-4 en forma directa, el hecho de poder estimar cantidades específicas ya sea de emisiones o consumos energéticos, a partir de las relaciones consideradas por el software de flujo, velocidad de circulación y deterioro de los pavimentos entre otros aspectos, permita calcular y hacer análisis más confiables desde esta perspectiva. **Figura 2.** El poder realizar estos análisis y cálculos con HDM-4 constituyen un potencial enorme en lo que se refiere a involucrar parámetros y variables de carácter sustentable en la toma de decisiones sobre el escenario de mantenimiento y/o rehabilitación más conveniente.

Análisis multicriterio

El HDM-4 incluyó a partir de la versión 2 una herramienta que tiene por objetivo establecer cuál podría ser el escenario más conveniente evaluando las diferentes alternativas planteadas.

Los insumos para el análisis multicriterio el HDM-4 los obtiene a partir de los diferentes resultados que arrojan sus propios modelos, con miras a alimentar los criterios de cada una de las categorías que para cada alternativa definidas que están siendo evaluadas, considerando lo que cada uno de estos criterios representa y el significado que puede llegar el valor que tenga cada criterio.

Dentro de los aspectos que criterios y atributos evaluados por el análisis multicriterio del HDM-4, para los diferentes tópicos de evaluación (Categorías) se encuentran en la **Tabla 1.**

Por lo tanto, los valores asignados a los criterios se constituirán en la representación de cada categoría, con lo cual se tendrían más elementos objetivos para una adecuada toma de decisiones. La idea del análisis multicriterio es que las alternativas sean evaluadas en simultaneo con los respectivos criterios y con miras a encontrar la alternativa que al combinarlos defina la mejor solución posible.

El HDM-4 tiene establecido un algoritmo matricial donde a partir de la definición por parte de los usuarios del software de las categorías a considerar en el análisis, incluyendo la determinación de cuál de ellas será asumida como la categoría base de referencia para los análisis. Adicionalmente, es necesario que el usuario también establezca la importancia relativa de cada uno de las categorías a evaluar. Una vez hecha esta definición el HDM-4 extraerá de los resultados obtenidos de la modelación los respectivos valores que adoptaran cada uno de los criterios que se evalúan por parte del algoritmo matricial para todas las categorías, salvo para el Beneficio Social y el Impacto Político, los cuales deben ser establecidos directamente por el usuario porque no existe un modelo para estos dos aspectos.

Una vez se ha ejecutado el análisis multicriterio, el programa identifica y reporta la alternativa más conveniente y la califica con un valor igual a 1, de modo que los demás alternativas de cada uno de los tramos de la red que estén siendo evaluados, el algoritmo deduce y asigna un

Tabla 1: Criterios y atributos evaluados por el análisis multicriterio del HDM-4

CATEGORÍA	CRITERIO /OBJETIVO	ATRIBUTOS
Economía	<ul style="list-style-type: none"> Minimizar los costos de usuario (RUC) Maximizar el Valor Presente Neto (VPN) 	<ul style="list-style-type: none"> Total de los Costos de usuario calculado internamente en HDM-4 para cada alternativa. Beneficio económico neto para la sociedad calculado internamente en HDM-4 para cada alternativa.
Seguridad Vial	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de accidentalidad 	<ul style="list-style-type: none"> Número total y severidad de los accidentes de tránsito calculados internamente en el HDM-4.
Nivel de Servicio	<ul style="list-style-type: none"> Confort Reducción del congestionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Buena regularidad superficial, definida por el IRI calculado internamente en HDM-4. Demoras y efecto del congestionamiento, Nivel de congestionamiento definido por la relación volumen-capacidad calculada internamente en el HDM-4.
Medio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de la contaminación del aire 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del Aire medida en términos de las cantidades de emisiones contaminantes de los vehículos calculados internamente en el HDM-4.
Eficiencia Energética	<ul style="list-style-type: none"> Maximizar la eficiencia energética 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia Global y Nacional de energía usada en el sector transporte calculada internamente en el HDM-4.
Beneficio Social	<ul style="list-style-type: none"> Maximizar el beneficio social 	<ul style="list-style-type: none"> Beneficio Social incluyendo el mejoramiento de acceso al servicio social (educación, salud, etc.) valor representativo obtenido externamente para cada alternativa.
Impacto Político	<ul style="list-style-type: none"> Consideración de problemas políticos. 	<ul style="list-style-type: none"> Equilibrio en el acceso de las carreteras de acuerdo a la importancia estratégica y política valor representativo obtenido externamente para cada alternativa.

valor inferior a la unidad, que en términos relativos a medida que éste tienda a cero, significará que se trata de una alternativa mucho menos conveniente respecto de la alternativa óptima encontrada.

Gestión de activos

El HDM-4 también a partir de la versión 2 incluyó una herramienta para el análisis y gestión de activos, la cual permite en primer lugar una evaluación más amplia, incluyendo otros elementos de la infraestructura además del pavimento, permitiendo así que el HDM-4 pueda, si el usuario lo habilita, analizar el valor que tendrán dicho elemento a lo largo del tiempo, sabiendo que éste van resignado algo de su valor original por la depreciación que sufren. Cada uno de los elementos que vayan a ser considerados en el análisis de gestión de activos será depreciado por el software según la función de depreciación que ha sido establecida para cada tipo de elemento. Para el caso específico de los pavimentos el software puede bien estimar esta depreciación a partir de una función de manera similar a los otros elementos o puede hacerlo a través de lo que establezca la progresión del IRI, es decir, la evolución del deterioro en el tiempo. Como datos que requiere el HDM-4 para evaluar el valor de un determinado activo,

El HDM-4 incluyó un módulo dentro de su estructura que le permite al usuario sensibilizar el efecto que podrían tener una serie de parámetros sin necesidad de tener que duplicar el proyecto completamente para obtener el mencionado resultado.

es necesario alimentar en el programa para cada uno de ellos el valor de reemplazo del elemento como una proporción del costo de reemplazo del pavimento del tramo correspondiente, el valor residual, la duración de la vida útil según el tipo de elemento y la edad del mismo, respecto del año de referencia que se haya establecido. Con esta herramienta el HDM-4 cuenta con la posibilidad de conocer el valor de los activos que lo componen a lo largo del tiempo, con la posibilidad adicional de evaluar para el caso específico de los pavimentos la efectividad y conveniencia de aplicar políticas y estándares de trabajo para su mantenimiento, lo anterior teniendo en cuenta que cada vez que se

ejecute una acción de intervención en el pavimento, éste actualizará su valor patrimonial. Figura 3.

Análisis de sensibilidad

El HDM-4 incluyó un módulo dentro de su estructura que le permite al usuario sensibilizar el efecto que podrían tener una serie de parámetros, sin necesidad de tener que duplicar el proyecto completamente para obtener el mencionado resultado, sino que a través de factores multiplicadores que modifican el valor original de determinado parámetro, el software ejecuta un proyecto virtual paralelo al base, de modo de poder generar las salidas por pantalla y los reportes habituales para todos y cada uno de los escenarios de sensibilización que se hayan definido. La importancia y aporte en este aspecto es agilizar el proceso de chequeo del impacto, que ciertas órdenes de magnitud en las entradas del programa pueden llegar a tener afectando con ello a las salidas. Dentro de los aspectos que pueden ser objeto de análisis de sensibilidad en el HDM-4 se encuentran parámetros asociados al tráfico (TMDA, Tasas de Crecimiento, etc.), al uso vehicular (Factor de Equivalencia de Carga, Peso en Operación, kilómetros y horas anuales de uso de los vehículos al año) y a los beneficios netos (inversión, costos de operación vehicular, entre otros). Figura 4.

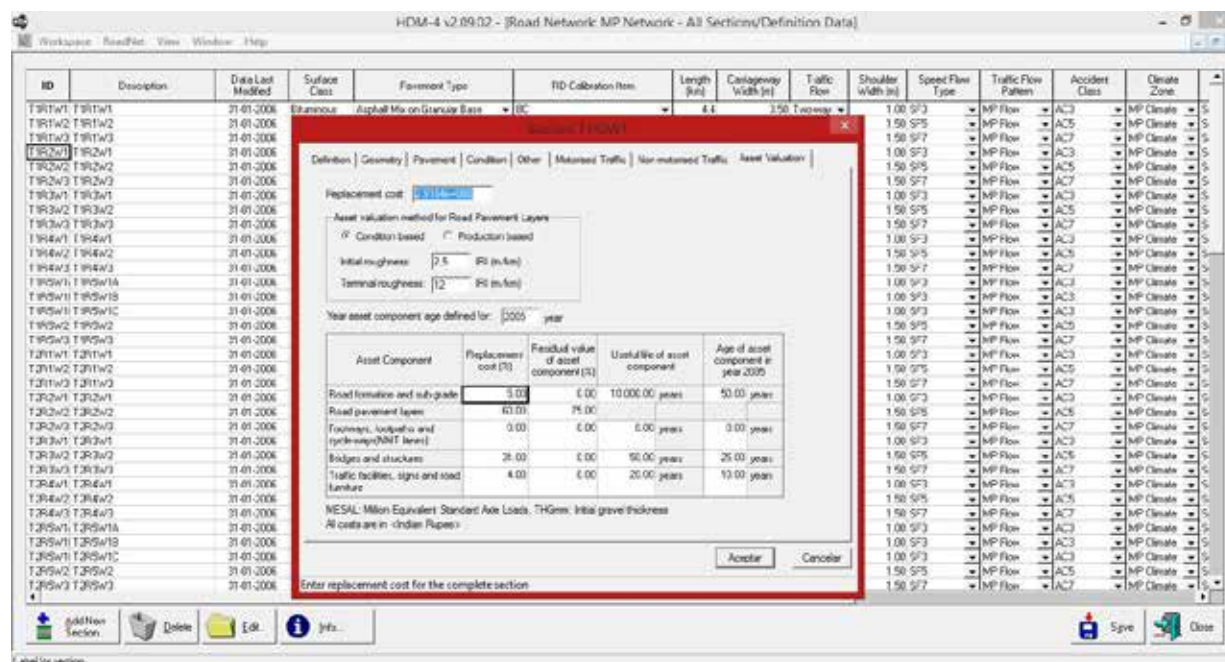


Figura 3: Definición de los elementos y sus condiciones para el cálculo de los activos incluidos en el tramo de la red de carreteras evaluado por HDM-4

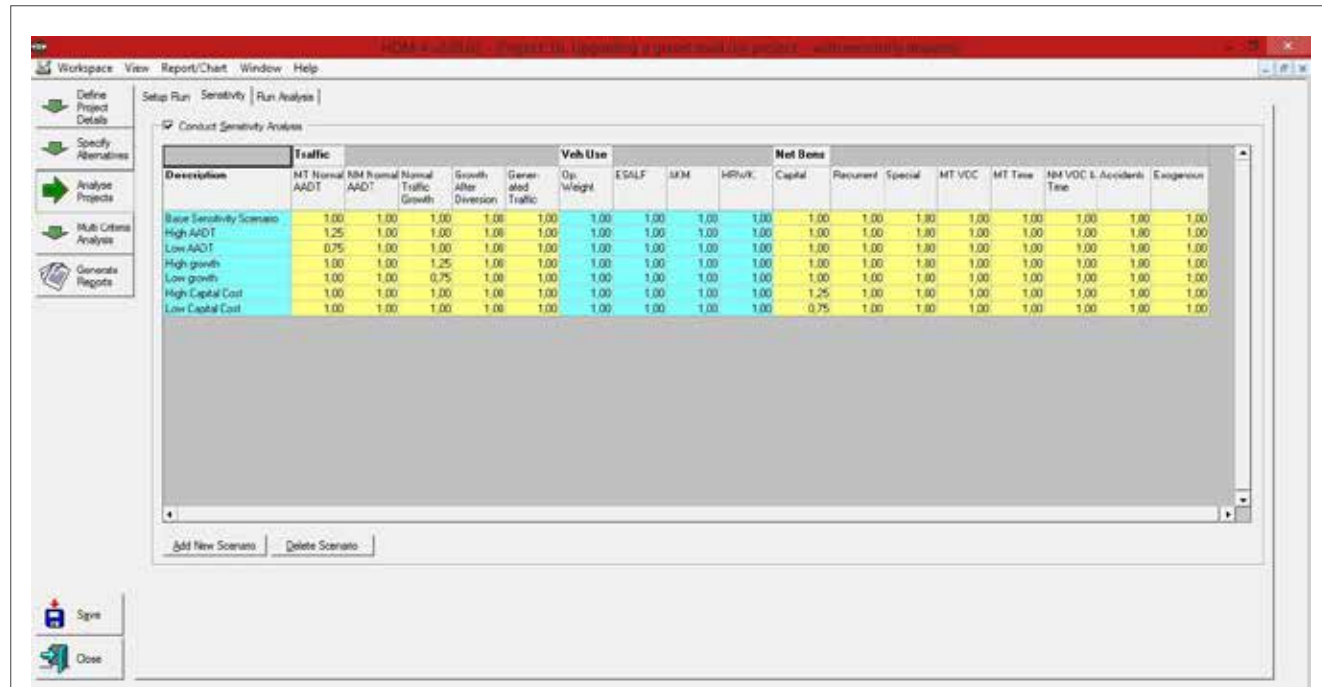


Figura 4: Ventana para la definición del análisis de sensibilidad.


Conclusiones

La aplicación de los análisis y módulos expuestos en el presente artículo amplían el horizonte y potencial de uso del HDM-4 como herramienta de gestión de infraestructura, siendo el desafío el contar con los insumos de información necesarios en cada caso para un mejor aprovechamiento del software, dentro de evaluaciones y estudios estructurados bajo las tendencias actuales y futuras de trabajo y análisis en el campo de la gestión de infraestructura vial. Los beneficios de la implementación y utilización de los análisis y módulos presentados son bastante evidentes. No obstante su adopción dependerá del conocimiento y concientización entre propios y extraños del real potencial de cada uno de estos temas en lo referido a la gestión de infraestructura.

(* msalgado@ich.cl - msalgado@gesinfra.cl)

Referencias

- Odoki J.B. Kerali H.G.R. Analytical Framework and Model Descriptions Volume 4. HDM-4 Version 2 Documentation.
- Salgado M. Experiencias de aplicación de HDM-4 en América Latina. Revista Vías Terrestres Número 6. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres A. C. Julio-Agosto 2010.
- HDMGlobal http://www.hdmglobal.com/hdmglobal_updates.asp



ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CEMENTO

Inicio | Institucional | Productos | Estadísticas | Noticias | Eventos | Biblioteca | Contactenos

Industria del Cemento

Se brinda información técnica comprendida en artículos, libros, conferencias, etc.


Tecnología del Concreto

Contiene documentación sobre la investigación y análisis en concreto contenido en publicaciones.

Normalización

Esta sección contiene las referencias de las Normas Técnicas Peruanas sobre cemento, concreto y áreas relacionadas.

Descubre la Nueva Web



www.asocem.org.pe

Pavimentos

Información técnica actualizada de la tecnología aplicada en la construcción de pavimentos.

Enlaces de Interés

Contiene los enlaces a páginas webs relacionados a la industria del cemento, del concreto y pavimentos, construcción a nivel mundial.

Vivienda

Brindamos información especializada, noticias sobre los materiales y procesos de construcción.

Boletines Técnicos


Publicados por Asocem contiene información especializada, comentarios de normas técnicas en la industria del cemento, concreto y áreas relacionadas.

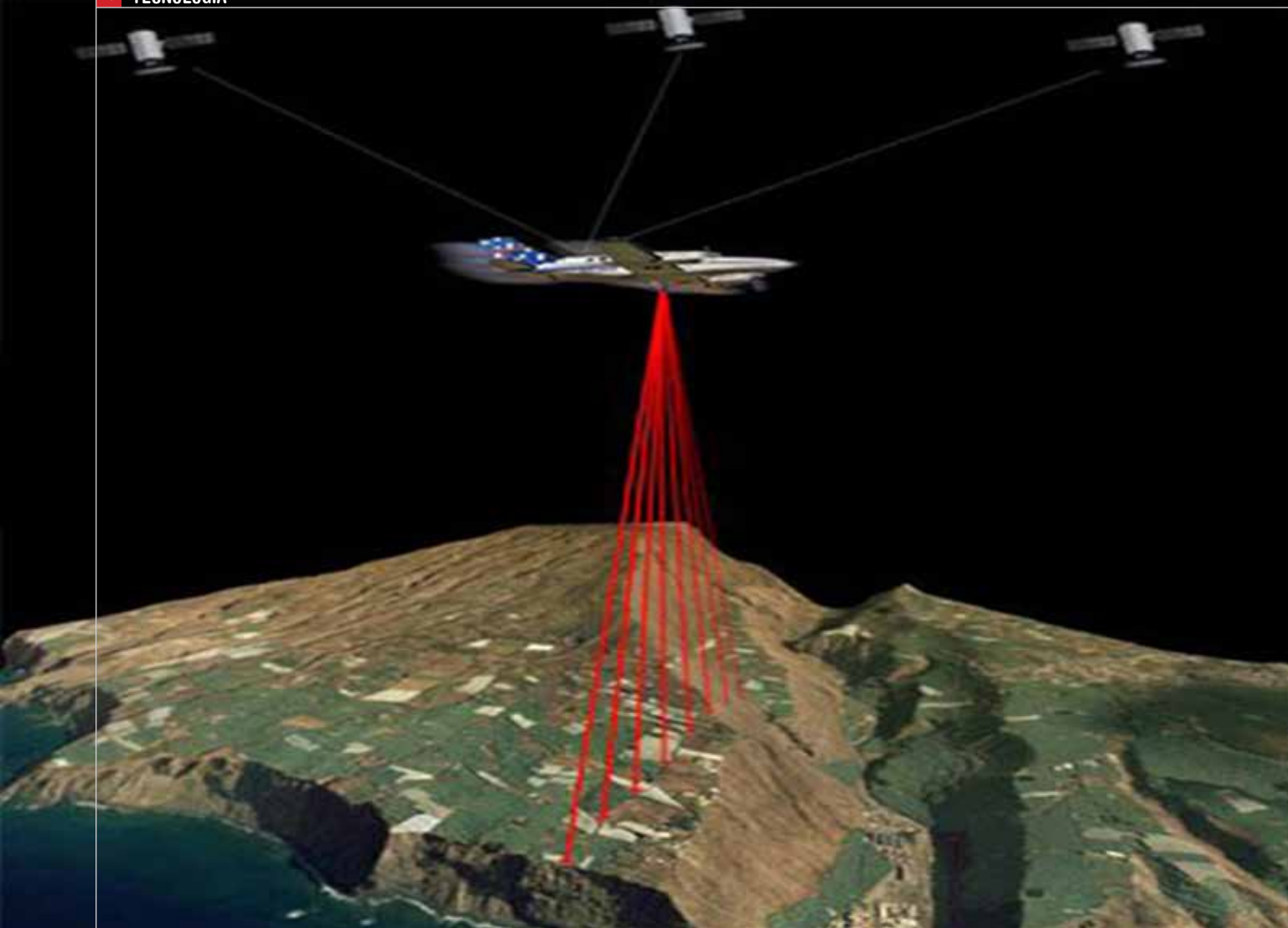
Servicios de Consulta a los Asociados y Público en General

Servicio de alerta de información de artículos, noticias publicadas en revistas, webs del sector industrial. Búsquedas de información a solicitud de los usuarios.

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

Calle Río de la Plata 167 Of. 101 San Isidro Tel: 441-4963 441-4965





El lidar aerotransportado y su aplicación en la ingeniería vial

El LIDAR (*Light Detection and Ranging*) es una tecnología relativamente nueva que permite determinar las coordenadas de un punto (x,y,z) a partir de las coordenadas de un punto conocido y la medición de un ángulo y una distancia con láser, tal y como funciona una estación total.

↳ CÉSAR SANTISTEVAN (*)

La diferencia entre una estación total y un LIDAR radica en este último caso, el sensor envía miles de disparos a través de un barrido secuencial, obteniéndose miles de puntos con coordenadas, a los cuales se les denomina nube de puntos. Esta nube de puntos, al ser unidos, genera una superficie tridimensional (TIN) a partir de la cual se generan curvas de nivel de gran precisión. El LIDAR aerotransportado es aquel que va montado sobre un avión y ofrece una nueva dimensión de información tridimensional, la que constituye una invaluable fuente de información aún desconocida para la mayoría de profesionales del campo y la ingeniería, pues la información obtenida no sólo puede ser utilizada para fines exclusivamente topográficos, sino que los datos generados y post procesados permiten generar diversos tipos de información temática para multiplicidad de fines que explicaremos en detalle más adelante. **Foto 1.** El LIDAR aerotransportado permite la toma de datos tridimensionales (latitud, longitud y cota) en función a un plan de vuelo predefinido, es así que podemos cubrir un corredor de servidumbre de una línea de transmisión eléctrica, una carretera, un gasoducto, como grandes extensiones como una mina y su área de influencia, una cuenca o un bosque, y en donde el ingeniero encargado de planificar el vuelo, modulará la toma de datos LIDAR en cuanto a la altura de vuelo, ángulo del barrido, la potencia de la señal y la cantidad de puntos por m², ello en función al tipo de datos que queremos obtener, su precisión asociada a la escala, como al tipo de mapa temático a generar.

Un LIDAR de última generación (los hay en el país) va conectado a un GPS geodésico a bordo del avión y opera simultáneamente con un GPS en tierra (GPS diferencial), lo cual se denomina airborne GPS, además cuenta con un dispositivo llamado sensor inercial de navegación que mide los movimientos del avión para, posteriormente, corregir los datos capturados y así obtener información más precisa. Estos sensores pueden barrer la superficie a razón de 500,000 disparos por segundo, pudiendo colocar en el terreno hasta 20 puntos por metro cuadrado con precisiones de hasta +- 25 cms.

Más allá de increíble capacidad de medir una gran cantidad de puntos sobre el terreno con enorme precisión y gran densidad por m², algo imposible por otros medios, una de las características más importantes para un territorio como el Perú, es la capacidad de penetración en la vegetación, con lo cual es posible generar mapas topográficos de gran precisión (hasta escalas 1/1,000) por debajo de la copa de los árboles. **Foto 2.**

En las zonas en donde hay presencia de árboles y vegetación como en la amazonia peruana, el LIDAR cuenta con una capacidad denominada multi retorno, en donde un solo disparo láser puede tener hasta 3 retornos de una misma señal: de la copa del árbol, del dosel y del propio terreno. Con los datos solo de la copas de los árboles y de los objetos sólidos, se genera el Modelo Digital de Superficie-MDS, y con los datos que exclusivamente que llegaron al terreno se genera el Modelo Digital de Terreno-MDT. **Foto 3.**

Foto 1.



Foto 2.

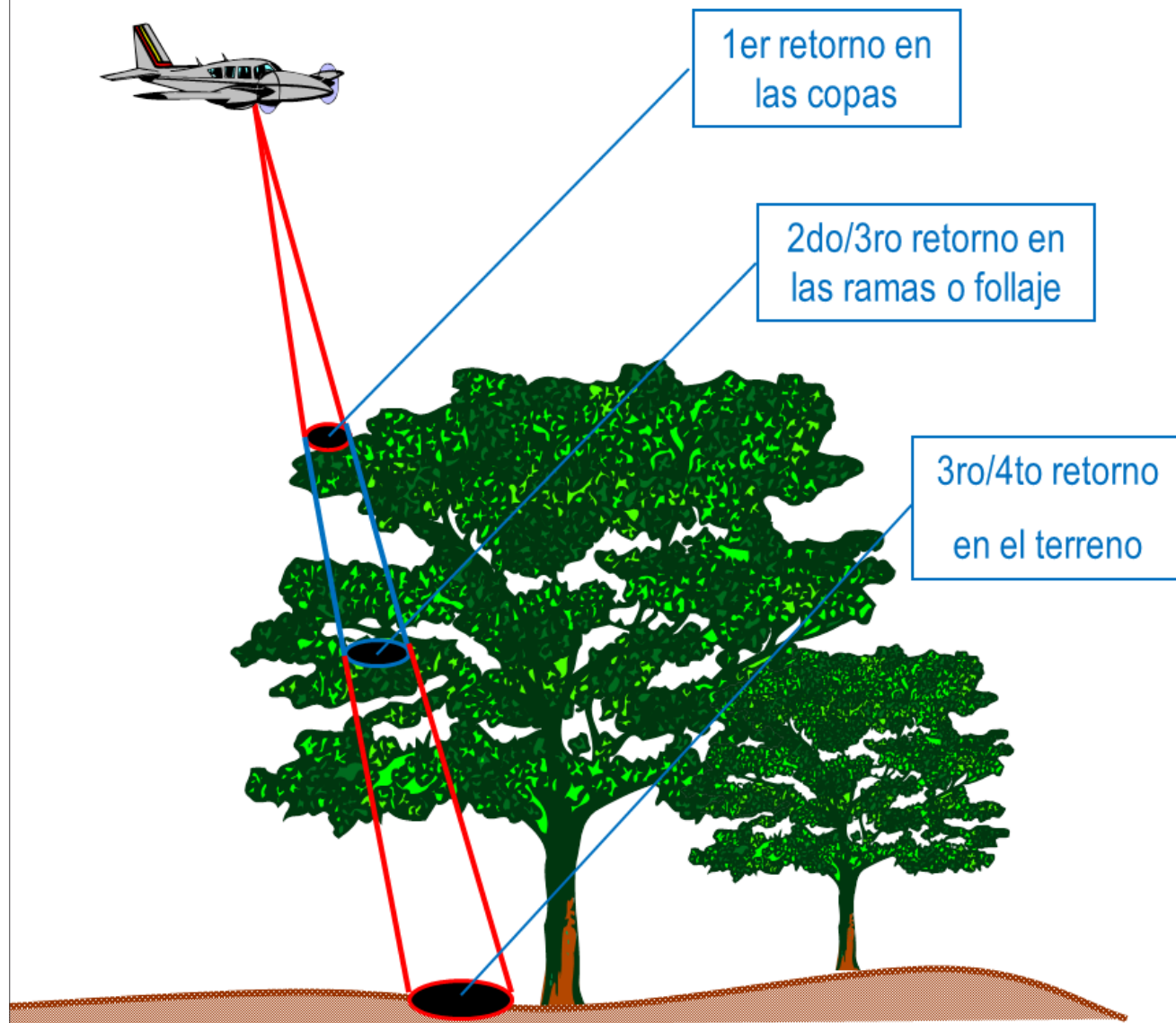
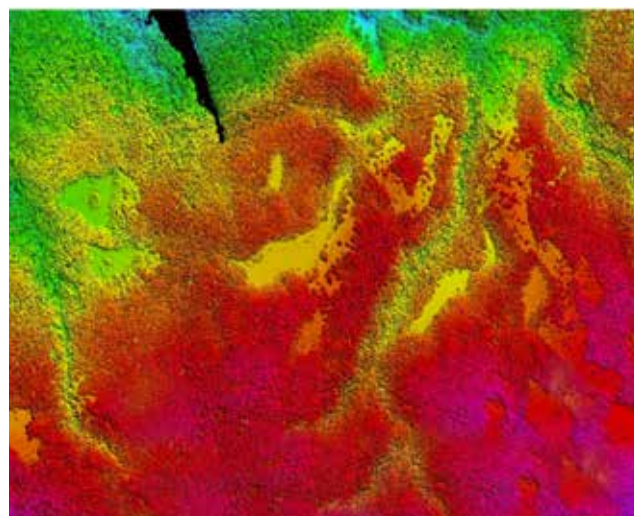
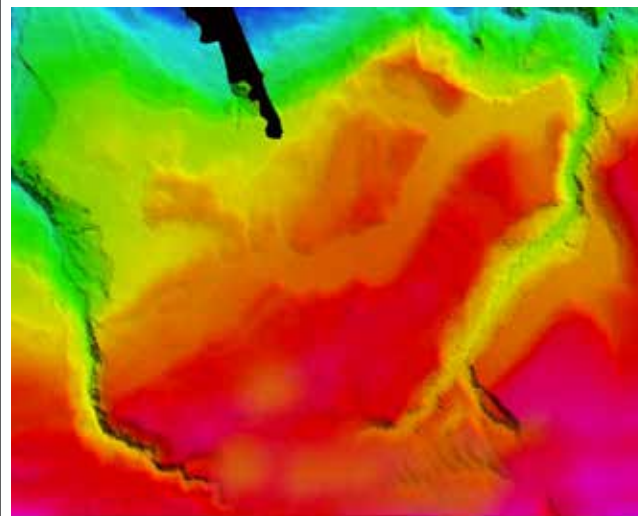


Foto 3.



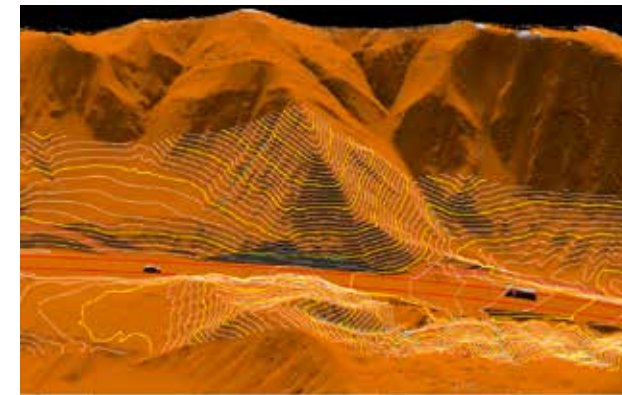
Modelo Digital de Superficie



Modelo Digital de Terreno

El Modelo Digital de Terreno-MDT es particularmente un producto único y de gran utilidad para proyectos de ingeniería y planificación, en especial en zonas de difícil geografía, las que abundan en nuestro país. A partir del MDT se van a generar curvas de nivel, teniendo en cuenta que la malla de puntos puede ser de hasta 25 puntos por m², obteniéndose una topografía de gran detalle y precisión.

Cabe resaltar que es imposible que por otros medios se pueda conseguir esta gran densidad de puntos, a partir de los cuales se generará en primer término la topografía pero que además permite generar una gran cantidad de información complementaria de gran utilidad para proyectos de ingeniería, y en especial para la ingeniería vial.



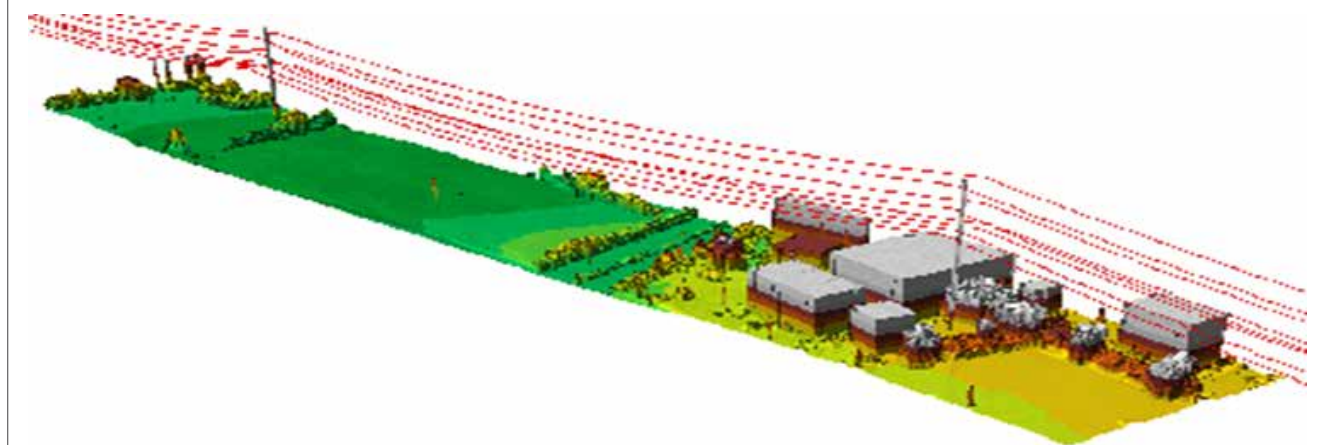
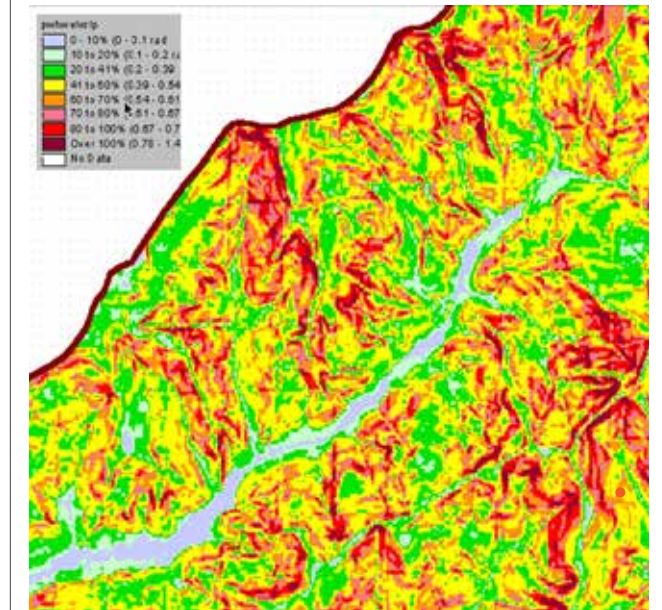
Lo que es poco conocido y que constituye un enorme aporte al diseño de proyectos y para estudios complementarios tanto ambientales como de geotecnia, es la gama de información que se puede obtener a partir del post proceso de los datos LIDAR, como son los mapas de pendientes, los mapas de altura de árboles, los mapas fisiográficos, redes hidrográficas de muy alta precisión, las que a su vez apoyaran el desarrollo de otros mapas complementarios como el mapeo geológico local, el mapeo geomorfológico, así como ser de gran utilidad para el desarrollo de diversos estudios a partir del detallado conocimiento de la topografía del terreno, como pueden ser la ubicación óptima de calicatas, el mapeo de buzamientos, la identificación de áreas potenciales de riesgo geodinámico, la determinación de áreas potencialmente inundables, la planificación de campañas de prospección sísmica geofísica y magnetométrica entre otros estudios.

El nivel de detalle del LIDAR es excepcional, la capacidad de modular la densidad y potencia de los disparos hace posible levantar detalles que por otros medios sería prácticamente imposible, es así que por ejemplo en un corredor de servidumbre puede obtenerse información de hasta del cableado de las líneas de transmisión eléctrica y de todas las construcciones existentes.

La información LIDAR constituye una herramienta complementaria de gran valor a la fotografía aérea, pues mientras ésta última nos ofrece información bi dimensional sobre lo que ocupa el suelo, el LIDAR nos brinda información oculta al ojo humano bajo la vegetación y que es de gran valor para el diseño y la planificación de infraestructura.

En un país en donde la disponibilidad de información relativa a la topografía del terreno es casi nula, la tecnología LIDAR constituye no solo una fuente de información primaria, sino que además es la base para la generación de cartografía temática para la zonificación de riesgos geodinámicos, basados en mapas de pendientes, fisiografía, geomorfología, geología estructural entre otros generados a partir de la tecnología LIDAR.

(*) Ingeniero. E-mail: csantisteban2050@gmail.com





Experiencias con mezclas sonoredreductoras en España

M. ELENA HIDALGO PÉREZ (*)

A raíz de la experiencia adquirida en el diseño de mezclas SMA sonoredreductoras, durante el desarrollo del Proyecto SMA, proyecto de I+D financiado parcialmente por el Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y la Unión Europea, desde el 2012, han ejecutado varios pavimentos sono-reductores con una mezcla SMA8 con adición de polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU). En este artículo se presentan y analizan los resultados acústicos obtenidos en algunas de las actuaciones con este tipo de pavimento. Las metodologías empleadas en dicha evaluación han sido, por un lado, mediante el método de proximidad (CPX), y por otro, mediante medidas de inmisión de ruido antes y después del extendido del pavimento sono-reductor.

En los últimos años, se ha producido en el mundo un crecimiento espectacular del tráfico como consecuencias del desarrollo económico, de forma que el aumento del ruido en las áreas densamente pobladas está directamente relacionado con este incremento de la movilidad. La contaminación acústica afecta significativamente a la calidad de vida de los ciudadanos, a través de sus efectos directos e indirectos sobre la salud.

Según la OMS¹, cerca de la mitad de los ciudadanos de la Unión Europea (UE15) reside en zonas de insuficiente confort acústico, estando el 40% de la población expuesta al ruido del tráfico con un nivel equivalente de presión sonora de más de 55 dB (A) durante el día y el 20% expuestos a más de 65dB.

Por otra parte, más del 30% de la población está expuesta a niveles de ruido superiores a los 55dB (A) por la noche, pudiendo provocar trastornos en la salud por interrupción del sueño. Algunos estudios realizados en los últimos años sugieren que el ruido generado por el tráfico aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares². Por ese motivo, cada vez son más las ciudades europeas conscientes de que el ruido requiere una estrategia de reducción propia.

Un aspecto que se debe considerar por ser el que contribuye en mayor medida al ruido ambiental, es el de los medios de transporte (tráfico rodado, ferroviario y aéreo) y los emplazamientos industriales. En este sentido, existe un gran consenso en que el 80% de la contaminación por ruido generado en las ciudades procede del tráfico rodado. *Figura 1.*

El ruido generado por el tráfico tiene diferentes orígenes, como son el ruido de origen mecánico, que predomina a bajas velocidades y depende fundamentalmente del vehículo y del régimen y carga del motor, el ruido de origen aerodinámico, el cual empieza a ser importante a velocidades altas, dependiendo de la carrocería del vehículo, y finalmente el ruido de rodadura, que es el generado por el contacto entre el pavimento y el neumático, y va asociado principalmente a la velocidad del vehículo y al tipo de pavimento.

La velocidad del vehículo es un factor que influye directamente en la generación del ruido producido por el tráfico rodado (*ver Figura 2*). Como norma general, se pue-

de indicar que para los vehículos ligeros actuales, con una velocidad de hasta 40 Km/h, la influencia en la generación de ruido es predominantemente de tipo mecánico, siendo el ruido de rodadura a velocidades superiores. Este límite es de 70-80 Km/h para vehículos pesados.

Por esta razón, la lógica sugiere que una de las medidas más efectivas para reducir el ruido en los entornos urbanos con velocidades superiores a los 40 km/h consiste en actuar sobre el ruido de rodadura. Y

dentro de esta medida, el camino más directo sería el empleo de pavimentos sonoredreductores (*ver Tabla 1*). Además, puesto que la reducción de velocidad como medida puede tener una aceptación negativa por parte de los usuarios de la carretera, la reducción del ruido del pavimento es particularmente adecuada para rondas urbanas de alta velocidad cerca de áreas residenciales.

En línea con el objetivo de reducir el ruido provocado por el tráfico por carretera, la

FIGURA 1: CONTRIBUCIÓN A LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN LAS CIUDADES

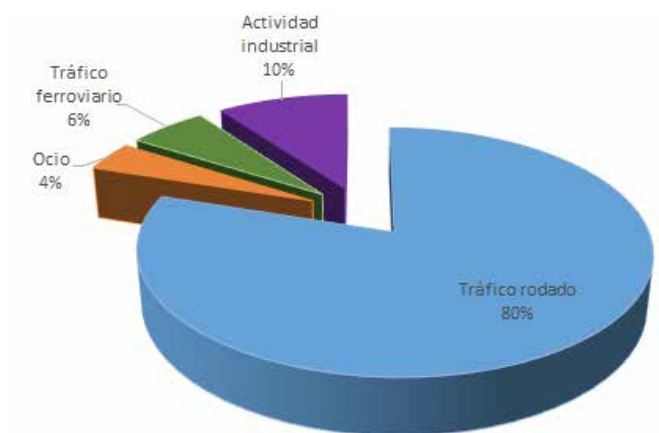
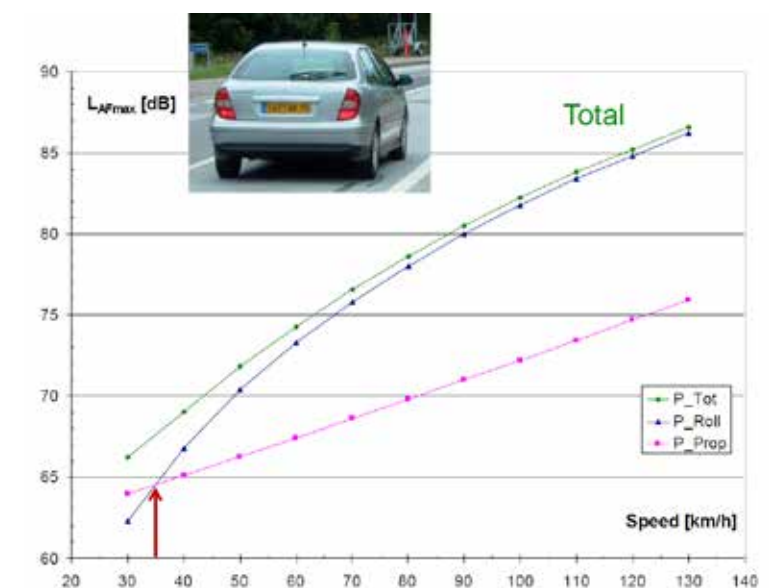


FIGURA 2: CONTRIBUCIÓN AL RUIDO DEL TRÁFICO SEGÚN LA VELOCIDAD (FUENTE: BENDTSEN, 2009; TOT: TOTAL, ROLL: RODADURA; PROP: PROPULSIÓN)



¹ Organización Mundial de la Salud. Guidelines for Community Noise. Berglund B, Lindvall T, Schwela DH, editors. Geneva: 1999.

² Noise Health. 2006 Jan-Mar;8(30):1-29. Babisch W.

³ Bendtsen, H. Practical use of noise reducing pavements and implementing research. The Danish experience. Road Directorate Danish Ministry of Transport and Energy. 2009.

TABLA 1: REDUCCIÓN DEL RUIDO EN ORIGEN IN dB(A). POSIBLES EFECTOS Y BARRERAS⁴

	Vehículo		Reducción de velocidad	Pavimento	
	Motor	Neumáticos		Delgado/Denso	Poroso
Reducción de ruido					
Tecnología existente/ conocimiento:					
• Perspectiva a 5 años	1-2	1-2	1-3	1-3	2-4
• Perspectiva a 10 años	2-4	2-4	-	3-5	6-8
Durabilidad:	15-20 años	3-5 años	-	7-15 años	3-10 años
Economía:					
• Coste (inversión, mantenimiento)	Medio	Medio	Bajo	Medio	Alto
• Quién paga	Consumidor	Consumidor	Gestor carretera / Consumidor	Gestor carretera	Gestor carretera
• Socio-económico	+	++	++	+++	+++
Viabilidad:					
• Política	Implantación largo plazo	Implantación largo plazo	-	+	¿
• Fabricantes	Posible	Posible		Posible	Posible

Unión Europea ha establecido legislación sobre el ruido emitido por los motores (Reglamento EU N° 540/2014) y por los neumáticos (Reglamento 661/2009). El último paso consiste en dirigir los esfuerzos al pavimento, y dentro de los comités europeos de normalización se ha comenzado a trabajar para establecer una clasificación acústica de los pavimentos (CEN TC227/WG5).

Panorámica de pavimentos sonorreductores

Desde hace unos años, el sector de las mezclas asfálticas viene aportando avances tecnológicos en el área de pavimentos sonorreductores, con el fin de mitigar la contaminación acústica en origen. Algunas de las iniciativas tomadas en España han sido: incorporación del polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso en las mezclas, diseño de microaglomerados de granulometría discontinua en capas finas y ultrafinas y el empleo de mezclas drenantes convencionales o en capa doble⁵. En Francia, investigaciones centradas en los métodos de medida del ruido y en el diseño de pavimentos sonorreductores han permitido jerarquizar las grandes familias de pavimentos según el ruido de rodadura producido por los mismos⁶, obteniéndose que los pavimentos porosos y las capas delgadas de mezclas con pequeño tama-

ño nominal de árido son más eficientes desde el punto de vista acústico. Se considera una mezcla bituminosa sonorreductora aquella capaz de reducir el ruido de rodadura en al menos 3 dB(A) con respecto a una mezcla convencional. La granulometría, el tamaño máximo de árido, el contenido de huecos, la continuidad o discontinuidad y el contenido y tipo de ligantes son las características de las mezclas que van a determinar la textura, la morfología y la porosidad, por tanto, su influencia en el ruido de rodadura. Dentro de los pavimentos poco ruidosos que se emplean actualmente cabe destacar los siguientes tipos:

- **Mezclas bituminosas discontinuas en capas delgadas:** se encuentra normalizadas según UNE EN 13108-2. Se trata de las mezclas BBTM 8A, BBTM 11A, BBTM8B y BBTM11B. Se estima que pueda reducir el sonido de 2 a 4 dB con relación a una mezcla bituminosa convencional.
- **Mezclas bituminosas drenantes:** normalizada según UNE EN 13108-7 y se tratan de las mezclas PA11 y PA16. En este caso, su capacidad de reducción se encuentra en torno a 7-9 dB respecto una mezcla convencional
- **Mezclas bituminosas drenantes de doble capa:** consisten en el extendido de una capa de rodadura drenante con un ta-

maño de árido de 4 a 6 mm sobre una capa drenante con un tamaño de árido entre 10 y 14 mm sin ningún tipo de riego de adherencia entre ambas. Esta mezcla presenta un eficacia acústica mejorada de aproximadamente 2 dB respecto a la mezcla drenante convencional

- **Mezclas en capas ultradelgadas (UTLAC):** Mezclas discontinuas para capas de rodadura extendidas con espesores de entre 1 y 2cm. En España, estas mezclas aún no se encuentran normalizadas. Para este tipo de mezcla la reducción sonora también se encuentra entre 2 a 3 dB.
- **Mezclas tipo SMA:** mezcla con granulometría discontinua caracterizada por su alto contenido en árido fino que forma un esqueleto interconectado para soportar grandes cargas sin deformaciones plásticas. Supone una disminución de sonido en al menos 2 dB a unos 50 Km/hr y además presenta una mayor resistencia al deslizamiento y una mejor visibilidad en condiciones de lluvia que las mezclas convencionales⁷. [Figura 3](#)

Experiencias de Eiffage Infraestructuras

A continuación se presentan las últimas experiencias en mezclas sonorreductoras llevadas a cabo por Eiffage Infraestructuras en el sur de España.

Aunque las mezclas bituminosas drenantes presentan mayores reducciones de ruido que las mezclas SMA, tienen la desventaja de una menor durabilidad y de que su capacidad de reducción del ruido decrece con el tiempo como consecuencia de la colmatación de los huecos. Así, en las zonas de clima mediterráneo con baja pluviometría (como es el caso del sur de España), los problemas de mantenimiento de la capacidad sonorreductora de los pavimentos drenantes vienen motivados por la colmatación de los huecos del pavimento, debido a la acumulación de polvo y la escasez de lluvia que podría regenerar y limpiar ese pavimento. Además, existe una notable tendencia al incremento de los problemas de colmatación de las mezclas drenantes en las zonas urbanas, donde no se da el efecto limpiador de la circulación de vehículos a elevadas velocidades que ocurre en las vías rápidas de alta intensidad de tráfico. Esto hace que las mezclas drenantes no sean adecuadas en zonas donde la velocidad del tráfico es moderada. Como una alternativa a las mezclas drenantes monocapa se están desarrollando unos pavimentos drenantes bicapa que resisten mejor uno de los principales problemas de colmatación encontrados en los pavimentos porosos simples. Por último, los pavimentos drenantes muestran una pobre resistencia a los esfuerzos de torsión y tangenciales, tan típicos de las zonas urbanas, por lo que se cuestiona su durabilidad en este entorno. Esto enfatiza la necesidad de desarrollar y evaluar otros tipos de capas de rodadura sonorreductoras, cambiando el foco de atención del diseño de la mezcla: mezclas caracterizadas no por una gran absorción de ruido gracias a un alto porcentaje de huecos, sino por una disminución del ruido en la interacción neumático-pavimento gracias a una macrotextura adecuada. Este es el caso por ejemplo de las mezclas SMA en capa delgada que presentan una menor capacidad sonorreductora que una mezcla porosa, pero una mayor durabilidad, por lo que el beneficio acústico a largo plazo será positivo.

Mezcla drenante bicapa en carretera A-8058⁸:

Dentro del Plan de Acción contra el Ruido de la Red de Carreteras de la Junta de Andalucía en España, se proyectó en 2008 para la carretera A-8058 Sevilla-Coria, la aplicación de una mezcla drenante bicapa con un porcentaje en huecos para ambas superior al 20%. La capa inferior fue una PA16 convencional. Para la capa superior, se diseñó una mezcla de tama-

ño máximo del árido inferior a 8 mm, buscando en todo momento un porcentaje de huecos elevado y al mismo tiempo un buen comportamiento mecánico de la mezcla.

En las figuras siguientes se muestran las curvas granulométricas resultantes a partir de las siguientes fracciones de áridos empleadas ([Figura 4](#) y [Figura 5](#)). El porcentaje de betún empleado en ambos casos fue del 4,3% sobre mezcla. [Tabla 2](#).

TABLA 2: COMPONENTES EMPLEADOS EN LAS MEZCLAS FONOAORSORBENTES DISEÑADAS

Materiales	PA16	PA8
Ofita	12/20 mm 6/12 mm	4/8 mm
Arena Caliza	0/6 mm	0/3 mm
Filler	Cemento CEMII/B-S 32,5N	Cemento CEMII/B-S 32,5N
Betún	PMB 45-80/65	PMB 45-80/65

FIGURA 4: CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA PA16 (CAPA INFERIOR)

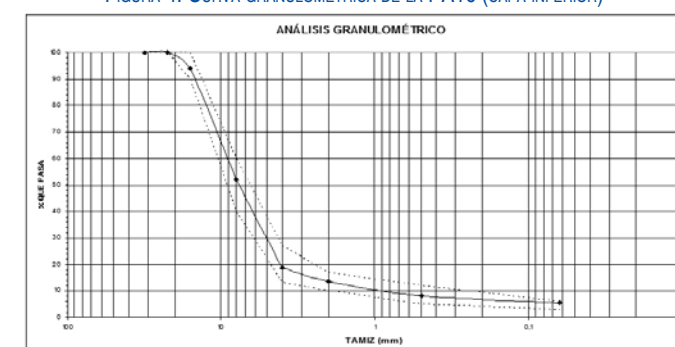


FIGURA 5: CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA PA8 (CAPA SUPERIOR)

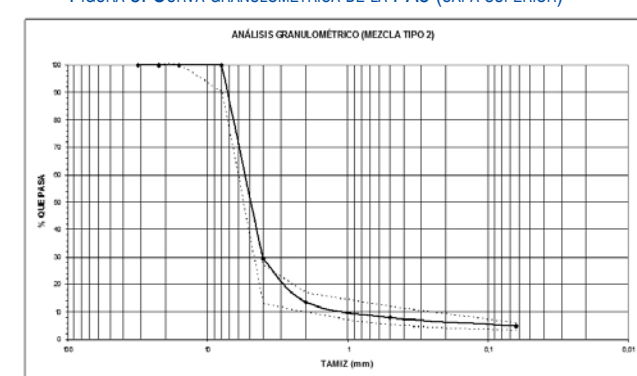
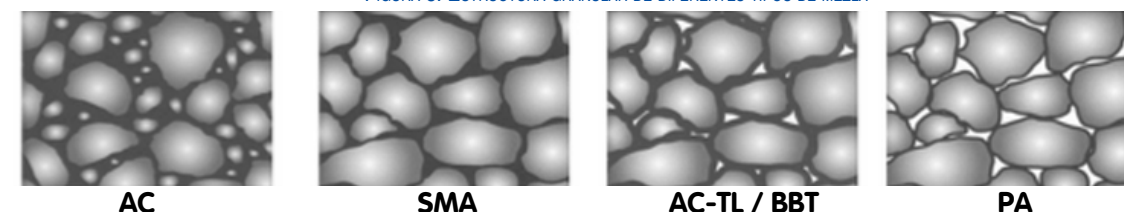


FIGURA 3: ESTRUCTURA GRANULAR DE DIFERENTES TIPOS DE MEZCLA



⁸ Hidalgo, M.E y Miranda, L. Diseño y construcción de un pavimento sonorreductor. Evaluación de su comportamiento acústico. Comunicación 01297 XV CILA. Lisboa, 2009

⁴ TOI report 806/2005, Norway

⁵ ASEFMA. Reducción del Ruido Ambiental en Origen. La Contribución del Sector de las Mezclas Asfálticas. Monografía n° 3. 2009

⁶ Brosseaud, Y. & Anfosso-Lédée, F. Pavimentos con un reducido nivel de ruido superficial y una elevada adherencia: resumen de la experiencia francesa. Revista Carreteras, N° 148. 2006.

⁷ Miljkovic, M. & Radenberg, M. Thin noise-reducing pavements for urban areas in Germany. International Journal of Pavements Engineering. 2011.

→ La puesta en obra de la mezcla drenante bicapa se realizó en dos capas, una inferior de 3,5 cm de PA12 convencional y una capa superior de 2 cm de espesor con PA8. **Figura 6.**

El proceso de puesta en obra no fue diferente al utilizado en cualquier otra puesta en obra de mezclas drenantes: extendido mediante extendidora convencional autopropulsada y dotada de dispositivo automático de nivelación y compactación de la mezclas mediante compactador de rodillos sin vibración.

Evaluación del comportamiento acústico

La evaluación del comportamiento acústico de la capa de rodadura se realizó para comprobar la disminución del ruido ambiental generado por el paso de vehículos al cambiar el asfalto existente por un asfalto sono-reductor. Para realizar este estudio acústico, la empresa responsable de su realización, Sincosur Ingeniería Sostenible S.L., dividió la longitud de la obra en tramos de 500 metros. El método utilizado consistió en la instalación de un sonómetro clase I dotado de pantalla antiviento, perpendicular al eje de la calzada

En los últimos años, se ha producido en el mundo un crecimiento espectacular del tráfico como consecuencias del desarrollo económico, de forma que el aumento del ruido en las áreas densamente pobladas está directamente relacionado con este incremento de la movilidad.

y a una distancia de la misma de 5 a 7,5 m del borde de la calzada en cada tramo, con disposición de puntos de medida a tresbolillo cada 500 metros, resultando un total de 10 puntos. Con el objeto de conseguir una evaluación de la propagación del sonido de la fuente de tráfico, se definieron tres puntos en un eje perpendicular a la vía a diferentes distancias de forma que se garantizara que el ruido ambiental fuera sólo el tráfico de paso de vehículos.

Los puntos elegidos que cumplían con la condición anterior se dispusieron a 30, 75 y 215 m. del eje de la calzada. Para caracterizar los diferentes periodos horarios se realizaron medidas de 15 minutos de duración, (correspondientes a los 10 puntos en el borde de la carretera), en intervalos coincidentes con el periodo día y con el periodo noche. Los tres puntos en el eje perpendicular a la carretera se midieron durante 24 horas. Se puede ver a continuación gráficamente la ubicación de estos puntos (**Figura 7**).

Con objeto de tener una aproximación de la efectividad de la actuación proyectada en contra del ruido, se realizó con posterioridad a la ejecución del pavimento fonoabsorbente la medida de ruido en una longitud de unos 800 metros para compararla con el estudio acústico realizado en toda la longitud de la obra con el pavimento existente antes de la actuación. Dentro de este tramo se encuentra centrado el punto de medida nº 2, de 15 minutos y el punto nº 3 de 24 horas de duración.

Con objeto de caracterizar la fuente que se estaba midiendo, se realizaron conteos de vehículos, durante el tiempo de realización de las medidas. **Figura 8.**

FIGURA 6: MEZCLA DRENANTE BICAPA EXTENDIDA EN LA CARRETERA A-8058 SEVILLA-CORIA DEL RIO

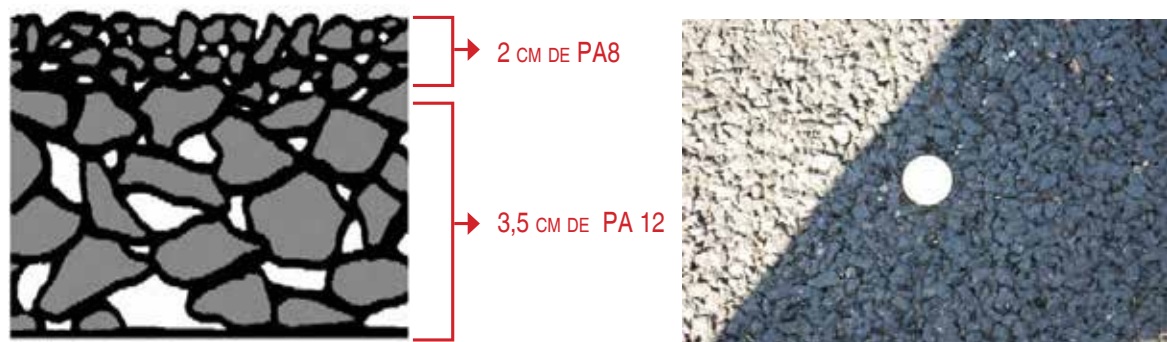


FIGURA 7: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA DEL RUIDO



FIGURA 8: ASPECTO DEL TRÁFICO QUE CIRCULA POR EL FIRME SONO-REDUCTOR DE LA CARRETERA A-8058



En la **Tabla 3** se presenta el nivel de presión sonora medido a los 15 minutos y durante 24 horas comparando antes y después de la aplicación de la mezcla fonoabsorbente.

En la medida de 24 horas, se produjo una disminución menor en el periodo día, lo que nos indica que existen otras fuentes que contribuyen al nivel acústico ambiental. No obstante, se puede concluir que la elección del pavimento fue muy acertada, contribuyendo a una reducción global en el nivel acústico entre los 7 y 8 decibelios. Además, del aforo realizado, se obtuvo que el tráfico soportado por la carretera después del extendido de pavimento fonoabsorbente era superior, por lo que la reducción de ruido no podía achacarse a una disminución del tráfico.

Mezclas SMA sonoredutoras en Andalucía.

Durante los años 2010-2012 Eiffage Infraestructuras lideró un proyecto de I+D+i realizado por un consorcio de empresas y Organismos de Investigación españoles y financiado parcialmente por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y la Unión Europea a través de los Fondos Feder. Dicho proyecto titulado Proyecto SMA (Desarrollo de mezclas Sostenibles y Medioambientalmente Amigables) tenía entre otros objetivos disminuir el impacto sonoro producido por el ruido de rodadura respecto a las mezclas convencionales. Para ello se planteó aumentar el contenido de huecos en mezcla entre 8-12% frente a los 4-6% de las mezclas SMA convencionales, buscando también ofrecer una alterna-

tiva a los microaglomerados discontinuos tipo BBTM B, que manteniendo las mismas prestaciones en características superficiales, presentan a su vez una mayor durabilidad y una mayor resistencia a la reflexión de grietas de las capas inferiores.

Como fruto de este trabajo se diseñó una mezcla SMA8 sonoredutora con porcentaje de huecos en torno al 10%. Además, se añadió polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) por vía seca el cual actuaba tanto como agente estabilizante del betún para evitar el escurrimiento, como para dotar de cierta elasticidad a la mezcla y previsiblemente de un mejor comportamiento sonoro.

Las mezclas SMA se caracterizan por tener una elevada proporción de árido grueso (70-80%) que le confiere una buena resistencia mecánica y un contenido también elevado de ligante y polvo mineral (filler), lo que da lugar a la formación de un mástico viscoso que aporta una gran cohesión.

A partir de esta experiencia, Eiffage Infraestructuras ha ejecutado varios tramos de actuación contra el ruido a instancias de diferentes administraciones públicas

TABLA 3: VALORES DE PRESIÓN SONORA MEDIDOS

	Antes	Después
Medidas de 15 minutos dB(A)	73	65
Medidas de 24 horas dB(A)		
Ltarde	62.23	54.33
Lnoche	55.32	48.38
Ldía	61.01	58.22

→ con este tipo de mezcla. A continuación se presentan las características principales de este tipo de mezclas, así como la evaluación del comportamiento acústico realizada. **Tabla 4.**

TABLA 4: COMPONENTES EMPLEADOS EN LAS MEZCLAS SMA8 SONOREDUCTORAS

Materiales	SMA8
Ofita	5/8
Arena Caliza	0/3 mm
Filler	C03Ca
Betún	B 50/70 con adición de polvo NFU

En todos los casos el porcentaje de betún fue del 5,8% sobre mezcla y se añadió polvo de caucho NFU por vía seca en una proporción del 0,5% sobre mezcla.

Mezcla SMA8 con polvo NFU en Málaga **Figura 9 y 10.**

Se busca encajar la mezcla en la parte baja del huso para las mezclas SMA convencionales buscando un mayor porcentaje de huecos. **Figura 11.**

Evaluación comportamiento acústico

En este caso el ruido se ha evaluado mediante la metodología CPX (Close Proximity), la cual permite medir de forma específica el ruido de rodadura. Se registran en continuo niveles sonoros emitidos exclusivamente por la interacción entre un neumático de referencia y la superficie de rodadura que se pretende evaluar. El equipo es un remolque constituido por una cámara semi-anecoica de la Universidad de Castilla-La Mancha (TireSonicMk4-LA2IC). Esta cámara permite aislar el ruido de interacción neumático/pavimento, generado por un neumático de referencia, del resto del ruido exterior asociado al tráfico rodado o al viento. En la **Figura 12** se muestra una fotografía del remolque. El neumático de referencia utilizado en este estudio es el neumático Pirelli P6000 205/55 R16. **Figura 12.**

(...) más del 30% de la población está expuesta a niveles de ruido superiores a los 55dB (A) por la noche, pudiendo provocar trastornos en la salud por interrupción del sueño.

FIGURA 9: LOCALIZACIÓN DEL TRAMO EXPERIMENTAL DE SMA8 SONOREDUCTORA EN MÁLAGA



FIGURA 10: ENCAJE GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO COMBINADO DE LA MEZCLA SMA8 EN UN HUSO ESPECIAL PARA MEZCLAS SONOREDUCTORAS

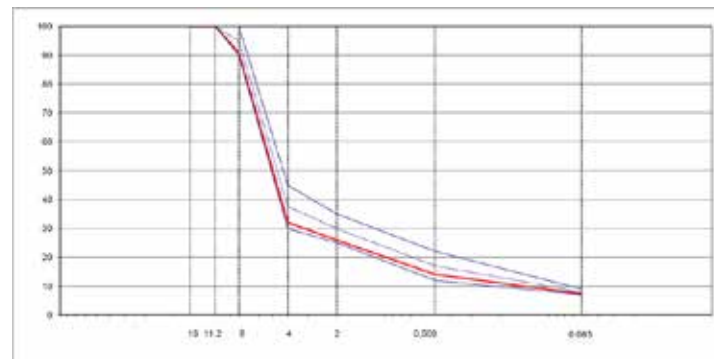


FIGURA 11: ASPECTO DE LA MEZCLA SMA8 EXTENDIDA EN MÁLAGA (AÑO 2012).



FIGURA 12: TIRESONICMk4-LA2IC (DERECHA: DURANTE LA AUSCULTACIÓN DEL TRAMO DE MÁLAGA)



Con el fin de comparar resultados, se ha elegido un tramo de ensayo de referencia del mismo Paseo de los Curas, con mezcla AC16 SURF S. Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 5** y en la **Figura 13** y muestran un buen comportamiento sono-reductor de la mezcla SMA8.

Mezcla SMA8 con polvo NFU en Utrera (Sevilla)

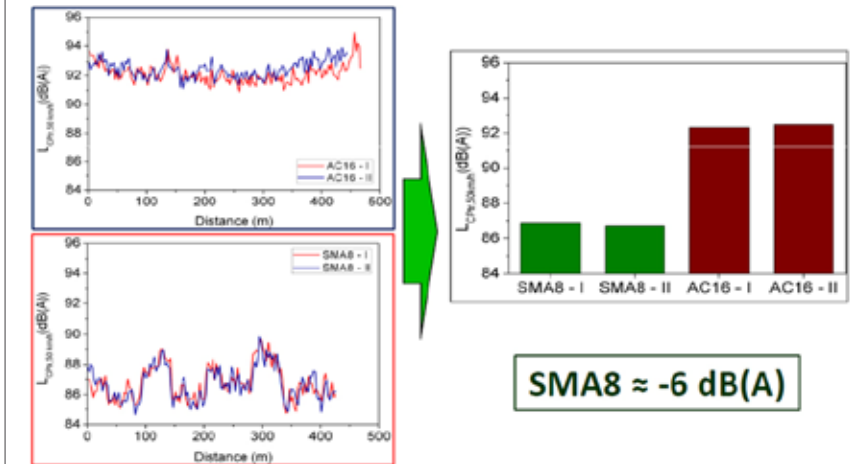
En este caso (**Figura 14**), se extendió una mezcla SMA8 de similares características a la del tramo de Málaga en una ronda de circunvalación con viviendas cercanas con alta sensibilidad acústica, en Utrera (Sevilla) en enero de 2014.

La evaluación acústica fue realizada por la empresa SINCOSUR mediante medidas de inmisión de ruido al borde de la carretera, previo al extendido de la capa y después de la puesta en obra de la mezcla sono-reductora: 1 medida de 24 horas de duración (cada 5 minutos) y 4 medidas de 15 minutos (cada 1 segundo). Al igual que en el tramo de Coria, con objeto de caracterizar la fuente que se estaba midiendo, se realizaron conteos de vehículos durante el tiempo de realización de las medidas de 15 minutos.

TABLA 5: VALORES MEDIOS DEL NIVEL LCPTr CORREGIDOS POR VELOCIDAD Y TEMPERATURA (MÁLAGA)

Mezcla	LCPtr	
	50 km/h	80 km/h
SMA8 con NFU	86,7 dB(A)	92,8 dB(A)
AC16 SURF S	92,1 dB(A)	99,0 dB(A)

FIGURA 13: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA AUSCULTACIÓN ACÚSTICA DEL TRAMO DE MÁLAGA A 50 KM/H⁹



SMA8 ≈ -6 dB(A)

FIGURA 14: ZONA DE ACTUACIÓN DE MITIGACIÓN DEL RUIDO EN UTRERA



FIGURA 15: ASPECTO DE LA MEZCLA SMA8 UNA VEZ EXTENDIDA (UTRERA)



⁹ Fernández, V., Terán, F., Hidalgo, M.E., Cabrero A., Expósito, S. Environmentally friendly bituminous mix as noise mitigation measure for the Actions Plans of Málaga. Energy and Environment Knowledge Week. October 2014, Toledo, Spain.

FIGURA 16: LOCALIZACIÓN DEL PUNTO PARA MEDIDA DE 24 HORAS

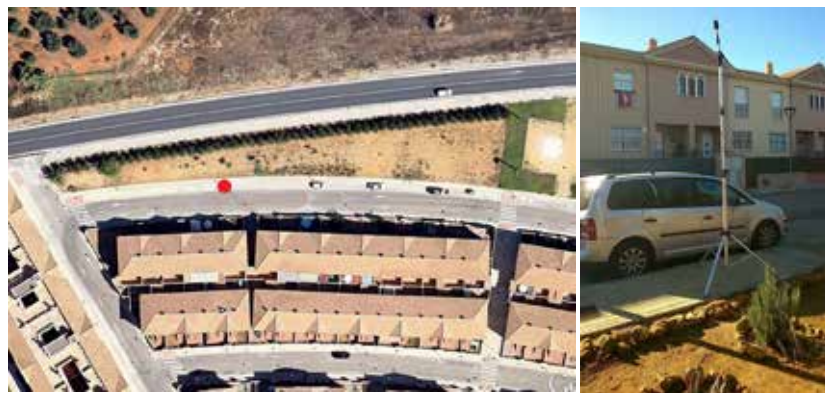


TABLA 6: VALORES DE PRESIÓN SONORA MEDIDOS EN EL TRAMO DE UTRERA DURANTE UN PERÍODO DE 24 HORAS

Mezcla	Antes	Después
Medidas de 24 horas dB(A)		
Ltarde	67	60,3
Lnoche	64,8	57,8
Ldía	57,3	51,8

FIGURA 17: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MEDICIÓN DE 24 HORAS (AZUL: ANTES; ROJO: DESPUÉS)

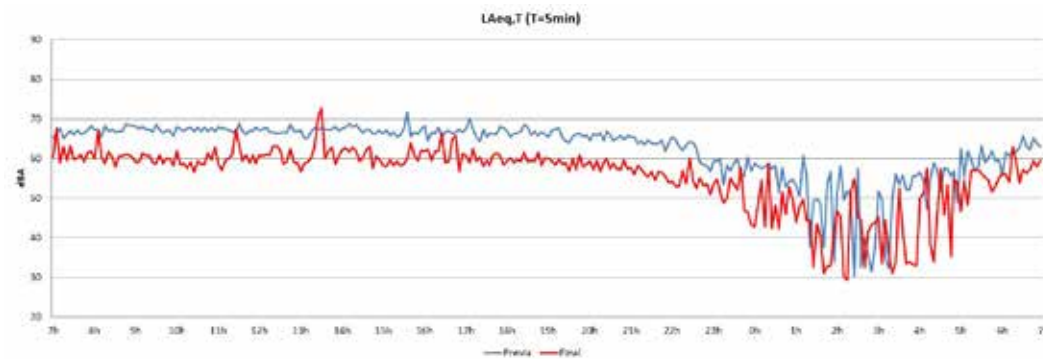


FIGURA 18: LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS PARA MEDIDA DE 15 MINUTOS



TABLA 7: VALORES DE PRESIÓN SONORA MEDIDOS EN EL TRAMO DE UTRERA DURANTE PERÍODOS DE 15 MINUTOS

Mezcla	Antes	Después
Medidas de 15 minutos dB(A)		
Punto 1	70,0	64,4
Punto 2	70,3	64,0
Punto 3	65,9	60,8
Punto 4	62,8	53,6

El análisis de estos resultados arrojan las siguientes conclusiones:

- Disminución importante de los niveles de inmisión de ruido.
- En la medida de 24 horas la reducción oscila entre 7 dB y 5,5 dB.
- En términos energéticos se ha conseguido una reducción del 75% de la potencia acústica.
- Esto equivale a una disminución del tráfico al 25% de la Intensidad Media Diaria de la carretera sin el pavimento sono-reductor.
- En las mediciones cortas, hay un aumento

del tráfico de paso y sin embargo, el pavimento sono-reductor contrarresta este efecto, llegando incluso a disminuir los niveles existentes, por debajo de los medidos antes del extendido de la mezcla SMA8

Mezcla SMA8 con polvo NFU en San Fernando

Los últimos resultados que se presentan corresponden a los obtenidos en la evaluación acústica mediante la tecnología CPX en un tramo de SMA8 sono-reductor extendido en la carretera CA-33 en la localidad de San Fernando, en Cádiz en

diciembre de 2014. En este caso se trataba de una actuación requerida en el Plan de Acción contra el Ruido de esta provincia, por tratarse de una zona identificada como acústicamente saturada debido al tráfico rodado. Figura 19.

FIGURA 19: LOCALIZACIÓN DEL PAVIMENTO SONO-REDUCTOR EN SAN FERNANDO (CÁDIZ)



Las medidas fueron realizadas por la Fundación CIDAUT. En este caso, la rueda de ensayo va montada sobre el propio vehículo, es decir, no se utiliza remolque auxiliar. Para ello se emplean dos micrófonos colocados sobre una estructura metálica y enfrentada a la rueda trasera izquierda, para minimizar la influencia del ruido motor y del ruido de escape Figura 20.

FIGURA 20: INSTRUMENTACIÓN PARA MEDICIÓN CPX SIN REMOLQUE AUXILIAR



Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 8.

TABLA 8: VALORES MEDIOS DEL NIVEL LCP_{TR} CORREGIDOS POR VELOCIDAD Y TEMPERATURA (SAN FERNANDO)

Mezcla	LCP _{TR}	
	60 km/h	80 km/h
SMA8 con NFU	89,8 dB(A)	93,4 dB(A)
BBTM 11B	94,1 dB(A)	95,0 dB(A)

En este caso, la mezcla de referencia con la que se comparó fue un microaglomerado discontinuo BBTM11B situado a continuación del tramo donde se extendió la mezcla SMA8.

De los resultados obtenidos, se deduce que en este caso el efecto sono-reductor es mayor a 60 km/h que a 80 km/h. Los resultados de reducción de ruido son menores que con respecto a la mezcla AC16 SURF S, si bien hay que tener en cuenta que los microaglomerados discontinuos tipo BBTM B son ya de por sí menos ruidosos que las mezclas continuas tipo AC, gracias a la macrotextura negativa que presentan.

Como medida complementaria de ruido se realizó una medición de inmisión en un punto del tramo durante 24 horas, antes y después del extendido de la mezcla SMA8 así como una medición continua de aforo de tráfico durante los períodos de medida. Figura 21.

Esta medida de 24 horas presentó una mejora de 4 dB(A) aproximadamente en los tres períodos día, tarde y noche. En cuanto a los datos de aforo correspondientes a los días de medida, se obtuvo un incremento despreciable en el período día y tarde, y a tener en cuenta durante el periodo noche del tráfico contabiliza-

do después del extendido de pavimento sono-reductor frente al medido antes de la actuación, lo que viene a confirmar la efectividad de este pavimento en cuanto a mitigación del ruido.

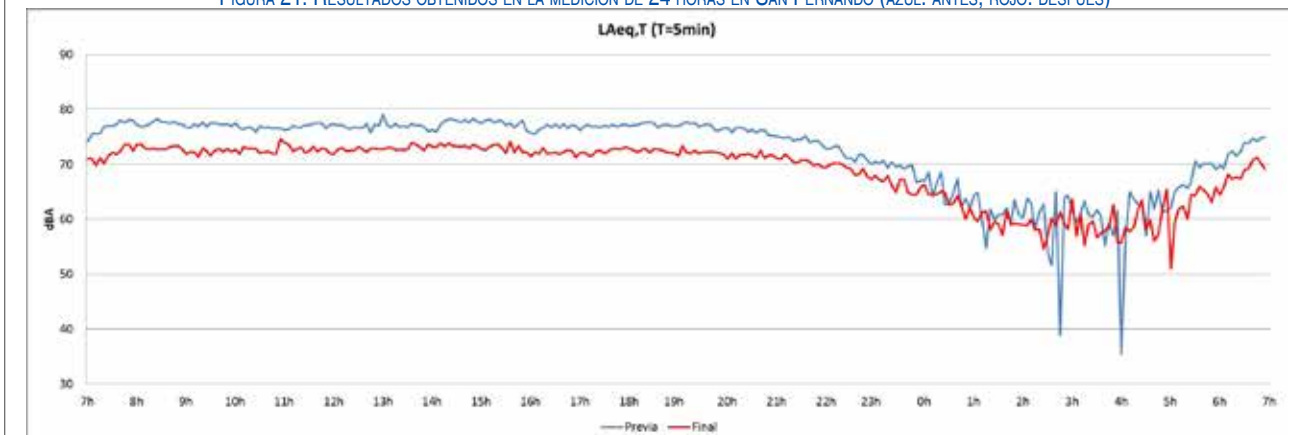
Conclusiones

En este artículo se han presentado los resultados de la evaluación acústica de dos tipos de pavimentos sono-reductores extendidos en diferentes ciudades del sur de Andalucía y bajo diferente tráfico: un pavimento drenante bicapa y un pavimento constituido por una mezcla SMA8 y con polvo de caucho añadido por la vía seca. Este último ha sido evaluado mediante metodología CPX y mediante medidas de inmisión de ruido en tres carreteras diferentes.

El mecanismo por el que ambos tipos de pavimentos reducen el ruido es diferente: en el caso del pavimento drenante, la mitigación del ruido se produce por absorción del mismo gracias al elevado porcentaje de huecos de la mezcla. En el caso de la mezcla SMA8, el buen comportamiento acústico no se debe a la absorción acústica (que se da en mezclas con porcentajes de huecos superiores a 20%) sino a una disminución del ruido generado en la rodadura gracias a la macrotextura de este tipo de mezclas. Si bien la reducción del ruido experimentada en el pavimento drenante es superior al experimentado con las mezclas SMA8, la reducción de ruido en estas últimas evaluadas por diferentes métodos y en tres situaciones distintas es muy considerable (en torno a 4 dB(A)), lo cual unido a la mayor durabilidad de estas mezclas con respecto a las drenantes, les convierte en una alternativa muy ventajosa en ambientes urbanos.

(*) Directora Técnica Eiffage Infraestructuras

FIGURA 21: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MEDICIÓN DE 24 HORAS EN SAN FERNANDO (AZUL: ANTES; ROJO: DESPUÉS)





Con cierta frecuencia ocurre que taludes de suelos pierden su estabilidad, ocasionando graves daños a caminos, ferrocarriles, viviendas y otras obras de infraestructura, más las correspondientes consecuencias adversas.

El rol del piezocono

José Luis Velarde (*)

Este tipo de deslizamiento de suelos compuestos por arenas, limos y arcillas, con o sin contenido orgánico, pueden ser estudiados de manera más técnica y más económica con la ayuda del piezocono sísmico, SCPTu, instrumento que se originó en Holanda, pero que a través de los años ha encontrado mucha aceptación en Europa, América y Japón, entre otros lugares. Los análisis ejecutados en conexión con deslizamientos suelen estar relacionados a la evaluación de la estabilidad de un talud cuestionado, para determinar si se requieren trabajos para mejorar su estabilidad, y a la determinación de las causas de falla de un talud. En todos estos casos, antes de realizar una evaluación matemática de la estabilidad del talud, será necesario conocerlo, es decir, será necesario contestar las siguientes incógnitas:

1. ¿De qué materiales está compuesto el talud? Con la ayuda de un geólogo de ingeniería, obtener información sobre la geología regional y local del sitio. Complementar esta información con un programa de exploración de campo que incluya el subsuelo hasta niveles sustancialmente más profundos que los potenciales o reales planos de falla.
2. ¿Cuál es el nivel de saturación dentro de la masa de suelo y como varían las presiones de agua con la profundidad? Asunciones tales como una distribución hidrostática de las presiones de poros deben estar bien sustentadas.
3. ¿Cuáles son los valores representativos del peso unitario total y la resistencia al corte (bajo diferentes condiciones de carga) de los materiales que componen el talud?
4. Después de haber estudiado la estabilidad estática, será importante determinar el comportamiento del talud cuando éste haya sido sometido a cargas sísmicas. Para ello se requiere determinar la probable aceleración pico de diseño, la magnitud del sismo, el período de retorno, y los registros de sismos típicos para la zona del proyecto. En este documento no trataremos este tema, el cual se encuentra en constante evolución y merece un tratamiento especial.

En el caso de grandes proyectos suelen existir condiciones para poder perforar,

extraer muestras inalteradas, transportarlas al laboratorio, extraerlas correctamente, depositarlas en los equipos de corte triaxial y ensayarlas siguiendo el estado del arte, tal como lo describen Ladd & DeGroot (2003) y DeGroot & Ladd (2012). Entonces es posible obtener aproximaciones a los parámetros de análisis del suelo, llámese ángulo de fricción efectivo, ϕ' , cohesión, c , peso unitario total, γ_t , y propiedades de consolidación de los suelos. Sin embargo, aún en estos casos, dichos trabajos deben de complementarse con un minucioso trabajo de campo, que permita definir sistemáticamente las capas de los diferentes suelos que componen el talud (dentro y fuera de la extensión de falla). Métodos de ensayo *in-situ*, tales como el piezocono sísmico, SCPTu, el dilatómetro sísmico de Marchetti, SDMT, y variaciones del Presiómetro de Mennard, permiten obtener información valiosa que sirve para caracterizar los suelos de acuerdo a su comportamiento de ingeniería, definir acuciosamente la distribución de los suelos con la profundidad y extender la información obtenida de muestras inalteradas en el laboratorio a zonas del proyecto donde limitaciones económicas y de tiempo no

permitan la extracción de muestras de suelo y su análisis en el laboratorio. Ver la Figura 01. Ocurre que en la mayor parte de los casos, no se cuenta con un presupuesto suficientemente grande para poder llevar a cabo un programa extensivo de exploración de campo, lo que obliga al ingeniero a recurrir a ensayos de campo que permitan obtener aproximadamente la caracterización del suelo que conforma el talud y su cimentación, así como parámetros para el análisis ingenieril dentro del contexto de un presupuesto menor y obteniéndose mediciones en suelos sometidos a un mínimo de perturbación. Mientras en el laboratorio se conocen y se controlan precisamente las condiciones de borde, en los ensayos de campo no hay control y conocimiento preciso de las mismas (con la excepción del presiómetro de Mennard). En contraprestación, los ensayos de campo analizan el suelo inalterado, mientras que los ensayos de laboratorio son afectados por alteración de las muestras. La Figura 02 muestra el SCPTu con el que se realiza el Ensayo de Penetración de Cono Sísmico. Se trata de un método ver-

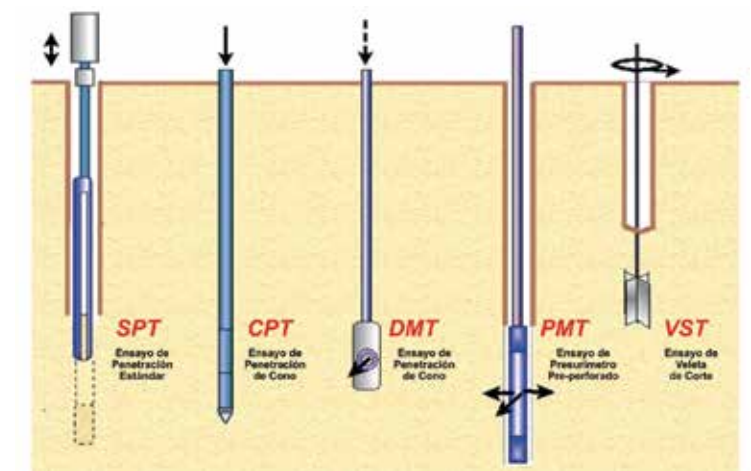


Figura 01. Ensayos *In-situ* comunes.



Figura 02. El SCPTu compuesto por el cono y su módulo sísmico.

sátel, rápido y preciso, empleado para la caracterización estratigráfica y la determinación de propiedades de los suelos. El equipo mide directamente la presión del agua subterránea durante la penetración del cono, la inclinación de la auscultación, la profundidad de la punta del cono, la resistencia de punta, la fricción actuante en el manguito y la velocidad de onda de corte (típicamente cada metro), tal como se describe en la **Figura 03**. A través de correlaciones, se pueden determinar otros parámetros de interés en el área de la ingeniería geotécnica. Ver el **Cuadro 01**. A diferencia del conocido ensayo SPT, que suele dar información más bien discreta y a intervalos muy espaciados, el CPTu es capaz de rendir información más confiable y a intervalos tan pequeños como de 20 mm, lo que permite establecer perfiles precisos y evidenciar cambios pequeños que puedan ocurrir entre los estratos de suelos. El ensayo SPT viene siendo usado en el Perú durante muchos años, y si bien existen normas que lo han intentado normalizar, sería muy fácil demostrar que en el Perú son muy pocas las ocasiones en que se ejecuta según lo exige la norma y, aún en esos casos, el ensayo adolece de una dependencia en los procedimientos del operador y el tipo de martillo utilizado, gozando de un muy bajo nivel de repetibilidad. Un argumento que se escucha con frecuencia es que el SPT obtiene una muestra que permite clasificar el material, lo que ignora que el SCPTu es un ensayo originalmente desarrollado para clasificar el suelo y que, en efecto, lo clasifica desde el punto de vista de su comportamiento, haciendo uso de la medición de la presión de agua durante la penetración,

ENSAYO DE PENETRACIÓN DE CONO (SCPTU)

ASTM D5778 (2007)

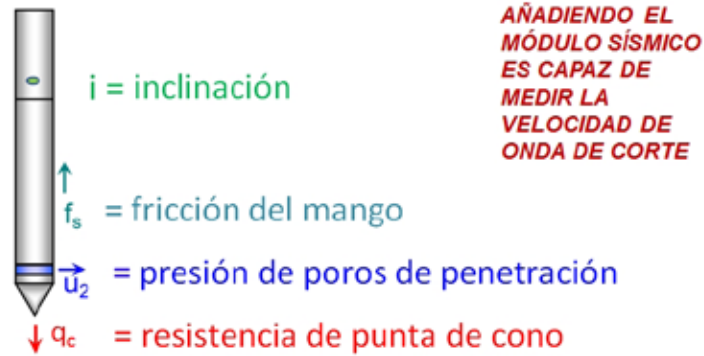


Figura 03. Lecturas del SCPTu.

la resistencia de punta y la fricción en el manguito. Como bien dicen Jefferies y Been (2006), "...Qué tanto importa si a un estrato se le llama arena limosa o queso Filadelfia con huecos, lo realmente importante es el comportamiento mecánico del suelo, el que se identifica mediante uno de los varios procedimientos de clasificación..." tal como el mostrado en la **Figura 04** (Robertson, 2009). Un detalle adicional, mediante el muestreador MOSTAP-PS es posible extraer muestras aptas para la clasificación sin el uso de agua o contaminante alguno, y las muestras se extraen en una fracción del tiempo y costo involucrado usando el SPT. El tiempo requerido para realizar una perforación convencional de 20 m de profundidad en suelo con ensayos SPT cada metro es de aproximadamente 4 días, ese mismo trabajo puede ser logrado obteniéndose una mayor cantidad y calidad de información en 4 horas, usando la tecnología de empuje directo del SCPTu.

1. PARÁMETROS BÁSICOS CALCULADOS CON EL SCPTU

Para poder presentar métodos para la determinación de la clasificación por comportamiento, del peso unitario, la resistencia al corte y otros parámetros de interés, es necesario incluir algunas relaciones simples:

La resistencia de punta corregida (q_t) se calcula de la siguiente manera:

$$q_t = q_c + u_2(1 - a)$$

Donde:

$a = 0.75$ para el piezocono empleado en el proyecto

q_c = Resistencia de punta del cono

u_2 = Presión de poros dinámica, en la posición 2 del cono

APLICABILIDAD	TIPO DE SUELO	PERFIL	μ	ϕ'	S_u	IP	m_v	c_h	k_h	G_{MAX}	σ_h	OCR	$\sigma - \varepsilon$
Alta	x	x	x	x	x	x		x		x			
Moderada				x	x	x	x	x	x		x	x	

Donde:
 μ = Relación de Poisson
 S_u = Resistencia no drenada
 c_h = Coeficiente de consolidación horizontal
 G_{MAX} = Módulo de Corte Máximo
 OCR = Razón de sobre-consolidación
 ϕ' = Ángulo de fricción efectivo
 m_v = Módulo de compresibilidad volumétrica
 k_h = Permeabilidad horizontal
 σ_h = Esfuerzo horizontal
 $\sigma - \varepsilon$ = Relación esfuerzo - deformación

Cuadro adaptado de P. K. Robertson (2010)

Cuadro 01. Aplicabilidad del SCPTu para el estimado de parámetros de ingeniería.

La fricción de mango está dada por la siguiente ecuación:

$$f_s = \frac{F_s}{A_s}$$

donde:

F_s = Fuerza total de fricción de mango, y

A_s = Área total de la superficie de fricción del mango

La razón de fricción normalizada (F_r) está dada por la siguiente ecuación:

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{vo}} \times 100\%$$

Donde:

σ_{vo} = Presión total vertical antes de la introducción del cono

La resistencia de punta normalizada (Q_t) está dada por la siguiente ecuación:

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma_{vo}}$$

Donde:

σ_{vo} = Presión efectiva vertical antes de la introducción del cono

q_t = La resistencia de punta corregida del cono

La resistencia de punta normalizada del cono con un exponente variable está dada por la siguiente ecuación:

$$Q_m = [(q_t - \sigma_{vo}) / p_a] (p_a / \sigma'_{vo})^n$$

ZONA	DESCRIPCIÓN
1	Suelo sensible fino
2	Materia Orgánica
3	Arcilla a Limo Arcilloso
4	Limo arcilloso a arcilla limosa
5	Arena limosa a arena arenosa
6	Arena limpia a arena limosa
7	Arena gravosa a arena
8	De arena muy densa a grava arcillosa
9	Suelo fino muy duro

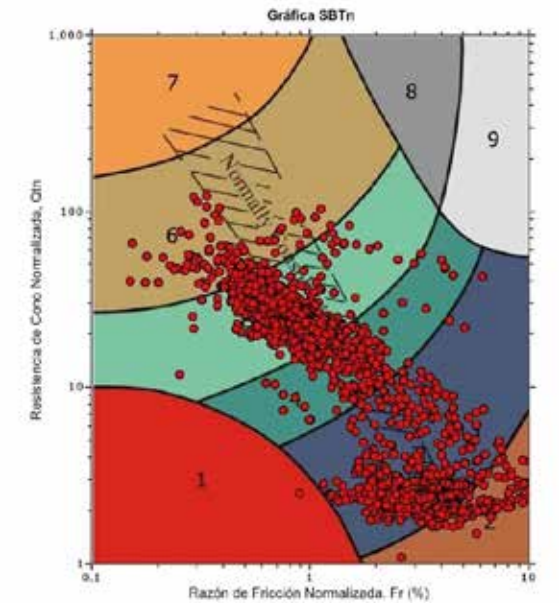


Figura 4. Clasificación por Comportamiento del Suelo (Robertson, 2009) con Datos CPTu en Relaves de Plata obtenidos por TECPROSA (2011).

Donde:

P_a = Presión atmosférica

$$n = 0.38(I_c) + 0.05(\sigma'_{vo} / p_a) - 0.15 \leq 1.0$$

Notar que $Q_m = Q_{n1}$ cuando $n = 1$, que es el caso de las arcillas.

El índice del tipo de comportamiento del suelo, I_c , está dado por la siguiente ecuación:

$$I_c = [(3.47 - \log Q_m)^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^n$$

Generalmente los suelos se comportan como arcillas cuando $I_c > 2.7$, mientras que valores menores o iguales a 1.64 corresponden a arenas y limos no plásticos, Robertson (2009). Para arenas $n = 0.5$ y

para arcillas $n = 1$. Con el propósito de crear una transición paulatina entre comportamientos esfuerzo-deformación tipo arena y tipo arcilla, Robertson sugirió el siguiente rango:

$$2.5 \leq I_c \leq 2.7$$

Para el cálculo de Q_m , n e I_c , Robertson (2009) recomienda asumir un valor de n según el material, calcular Q_m e I_c . Con el valor de I_c hallado se vuelve a calcular n , Q_m e I_c , en ese orden, repitiendo el proceso hasta que la diferencia entre los n de dos cálculos sucesivos sea menor a 1%. También existen otros criterios prácticos que ayudan a clasificar el material rápidamente, como el sugerido por Mayne (2005) y presentado en el **Cuadro 02**.

Tipo de Comportamiento de Suelo	Resistencia de Punta Normalizada $Q_t = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo}$	Presiones de Agua de Poros Normalizadas U^*	Razón de Fricción Normalizada $F_r = f_s / (q_t - \sigma_{vo})$
Arena Limpia	$Q_t > 40$	$\Delta u / \sigma'_{vo} \approx 0$	$< 1\%$
Arcilla Intacta	$Q_t < 20$	$\Delta u_2 / \sigma'_{vo} > 3$	A menudo $F_r > 4\%$ Pero $F_r < 2\%$ para $S_t > 4$
Arcilla Fisurada	$20 < Q_t < 40$	$\Delta u_2 / \sigma'_{vo} < 0$	Generalmente $F_r > 4\%$

Cuadro 02. Guía para la evaluación del tipo de suelo a partir de la data CPTu.

2. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS CALCULADOS CON EL SCPTU

2.1. Cálculo de la Resistencia Estática No Drenada de Suelos Tipo Arcilla

Se utilizan las siguientes relaciones:

$$S_u = \frac{Q_m}{N_{kt}} \times \sigma'_{vo} \times \beta \Leftrightarrow \frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = \frac{Q_m}{N_{kt}} \times \beta$$

Donde N_{kt} es el factor del cono, que tiene un valor promedio de 14, pero puede variar en el rango de 10 y 20, mientras que β es igual a 1 para arcillas naturales y entre $1 \leq \beta \leq 0.8$ para relaves tipo arcilla. Para el caso de arcillas muy blandas es preferible determinar la resistencia no drenada usando la siguiente relación:

$$S_u = \frac{\Delta u}{N_{\Delta u}} \text{ y } 4 \leq N_{\Delta u} \leq 10 \text{ ; donde:}$$

$$N_{\Delta u} = B_q N_{kt} \text{ y } B_q = \frac{u_2 - u_o}{q_t - \sigma'_{vo}} = \frac{\Delta u}{q_n}$$

Si se conoce el ángulo de fricción efectivo es posible determinar con mayor exactitud el

valor de la resistencia no drenada aplicable a análisis de estabilidad de taludes, usando la relación propuesta por Wroth (1984):

$$(S_u)_{sc} = 0.5 \times \tan \phi' \times \sigma'_{vo} \text{ y } \left(\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} \right)_{sc} = \left(\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} \right)_{OCR} \times OCR^\Lambda$$

$$\text{Donde: } \Lambda = 1 - \frac{C_c}{C_c} \approx 0.8$$

Directamente del SCPTu, la resistencia residual del relave se obtiene mediante la siguiente relación:

$$S_{ur} = F_r \times Q_m \times \frac{1}{100} \times \sigma'_{vo} \Leftrightarrow \frac{S_{ur}}{\sigma'_{vo}} = \frac{F_r \times Q_m}{100} = \frac{f_s}{\sigma'_{vo}}$$

La sensibilidad del suelo o relave, S_r , es la razón entre la resistencia no drenada pico, S_u , y la residual, S_{ur} , y en función de los resultados de ensayos CPT está dada por la siguiente relación: $S_r = \frac{\eta}{F_r}$, donde η varía entre 5 y 10 dependiendo del valor de N_{kt} , Robertson (2009). Para $N_{kt} = 14$ se tiene que:

$$S_r = \frac{7.1}{F_r} = \frac{S_u}{S_{ur}}$$

Una manera más eficiente de determinar es mediante el uso de la veleta electrónica.

2.2. Cálculo del Ángulo de Fricción Efectiva de Suelos Arenosos

El ángulo de fricción interno efectivo de arenas se puede calcular usando la ecuación propuesta por Kulhawy y Mayne (1990), Mayne (2006) y mostrada en la Figura 05.

Robertson (2012) presenta la ecuación de Kulhawy & Mayne ligeramente modificada en función de Q_m :

$$\phi' = 17.6 + 11 \times \log \left(\frac{q_t - \sigma'_{vo}}{\sqrt{\sigma'_{vo} \times \sigma'_{atm}}} \right) = 17.6 + 11 \log Q_m$$

Para el cálculo del ángulo de fricción efectivo de arenas y de suelos arcillosos, Janbu y Senneset desarrollaron el método NTNU, mostrado de forma abreviada en las Figuras 06 y 07.

El ángulo de fricción, ϕ' , se puede calcular aproximadamente usando la relación que a continuación se reproduce:

$$\phi' = 29.5 \times B_q^{0.121} \times [0.256 + 0.336 \times B_q + \log Q]$$

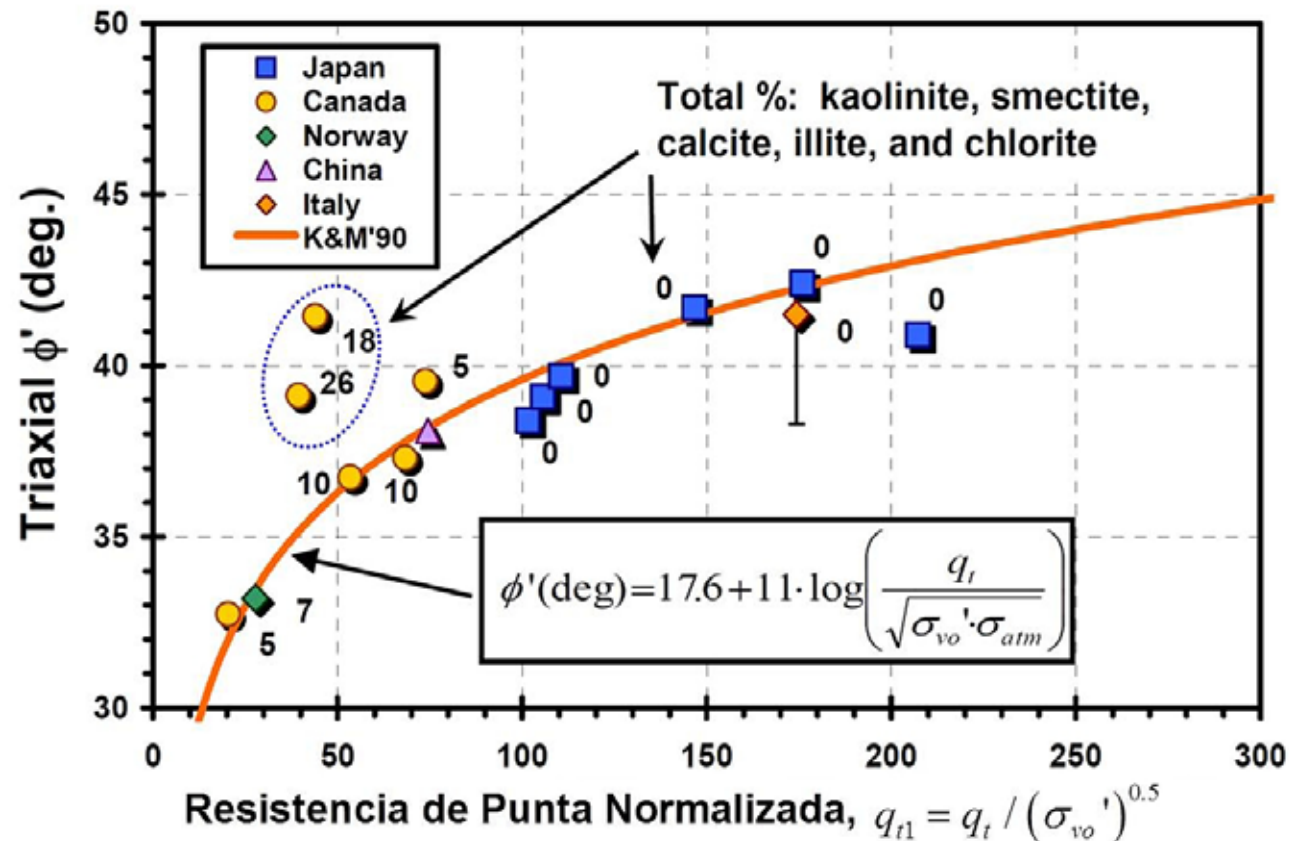
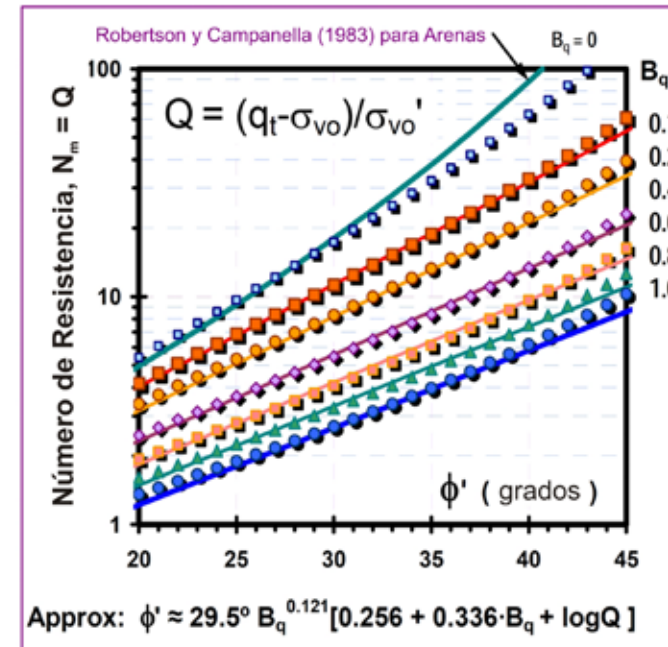


Figura 05. Correlación Entre la Resistencia de Punta del CPT y el Ángulo de Fricción Máximo Obtenido de Ensayos en Muestras Imperturbadas de Arenas con el Ensayo de Corte Triaxial.

Ángulo de Fricción del CPTU para arcillas y limos

Instituto Noruego de Tecnología: Senneset et al. (1989)

$$\phi' = 29.5 B_q^{0.121} [0.256 + 0.336 B_q + \log Q] \text{ donde } B_q = (u_2 - u_o) / (q_t - \sigma'_{vo})$$



- Notas para el Método NTNU:
1. Definir el Número de Resistencia de Cono: $N_m = (q_t - \sigma'_{vo}) / (\sigma'_o + a')$
 2. Atracción: $a' = c' \cot \phi'$, donde ϕ' = ángulo de fricción efectivo, y c' = cohesión efectiva.
 3. Para el caso donde $a' = c' = 0$: $N_m = (q_t - \sigma'_{vo}) / (\sigma'_o)$
 4. Definir el Parámetro de Presiones de Agua de Poros: $B_q = \Delta u_2 / (q_t - \sigma'_{vo})$
 5. Aproximar la expresión dada para los rangos: $0.1 < B_q < 1.0$ y $20^\circ < \phi' < 45^\circ$
 6. Ángulo de Plastificación, $\beta_p = 0$

Figura 06. Ángulo de Fricción Efectivo para Limos y Arcillas por el Método NTNU.

Ecuación válida para:

$$0.1 < B_q < 1.0 \text{ y } 20^\circ < \phi' < 45^\circ$$

Para el caso de penetración drenada (en arenas) $c' = 0$, Número de Resistencia del Cono, N_m , se convierte en la Resistencia normalizada de la punta del cono, Q :

Donde:

$$N_m = Q = \frac{(q_t - \sigma'_{vo})}{\sigma'_o} \approx \frac{q_t}{\sigma'_o}$$

$$N_q = \frac{q_t}{\sigma'_o} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \times \exp [(\pi - 2\beta) \times \tan \phi']$$

Donde:

β = Ángulo de Plastificación que varía dentro del rango $-30^\circ \leq \beta \leq +15^\circ$

N_q es el parámetro de capacidad de carga dado por Terzaghi (1943) y corresponde a una falla general de corte que se extiende debajo de la punta y alrededor de los

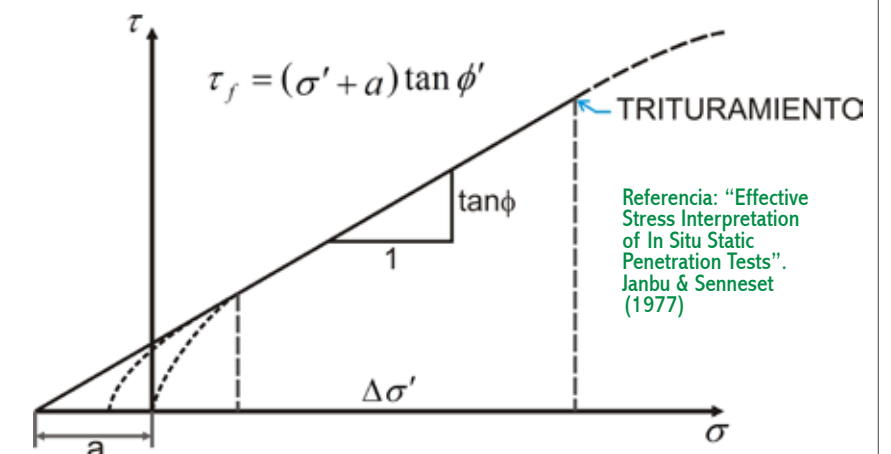


Figura 07. Definición de la fricción ($\tan \phi$) y la atracción (a) a lo Largo de un Rango de Esfuerzos $\Delta \sigma'$

hombros del cono. La solución adquiere una mayor flexibilidad cuando el tamaño de la superficie es variable, lo que se logra usando $-30^\circ \leq \beta \leq +15^\circ$, tal como lo sugirió Senneset et al. (1989).

Midiendo la velocidad de onda de corte, V_s , es posible determinar G_{MAX} lo que permite estimar el valor de β .

Ver la Figura 9, la cual aplica para arenas. →

Para un mismo ángulo de fricción ϕ

- A mayor β , menor N_q
- A menor β , mayor N_q

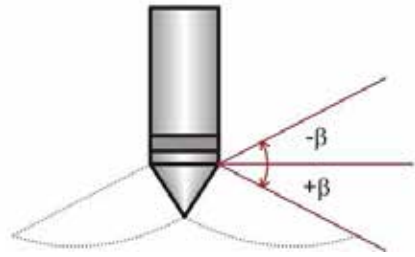


Figura 08. Definición del Ángulo de Plastificación, β , y Relación con N_q

En base a esta teoría, Mayne (2014) sugirió la siguiente ecuación para estimar el valor del ángulo de fricción pico de una arena (penetración drenada) de forma directa:

$$\phi \approx \arctan \left[\frac{\ln \left(0.94 \frac{q_t}{\sigma'_{vo}} \right)}{4.87 + 0.035\beta} \right]$$

La cual es válida para $30^\circ \leq \phi \leq 50^\circ$.

2.3. Determinación del Peso Unitario Total

Otro parámetro importante para analizar los suelos es el peso unitario total, γ_t y la presión de agua a diferentes profundidades del terreno. Para el segundo tema es necesario realizar ensayos de disipación de presiones de poros, parando la penetración del cono y tomando lecturas a través del tiempo. Ver Robertson (2012). Para γ_t existen diferentes fórmulas, entre las que incluimos las siguientes:

$$\gamma_t = 12 + 1.5 \ln(f_s + 1) \text{ donde } \gamma_t \text{ está en kN/m}^3$$

En el caso de arcillas muy blandas la fricción en el manguito, f_s , no es muy confiable.

El peso unitario saturado del material, γ_{SAT} puede calcularse a partir de la velocidad de onda de corte determinada con el SCPTu. Mayne (2001) obtuvo la siguiente ecuación de una serie de datos globales sobre mediciones efectuadas en arcillas, limos, arenas, gravas y rocas. Ver la Figura 10.

$$\gamma_{SAT} = 8.32 \times \log(V_s) - 1.61 \times \log(z)$$

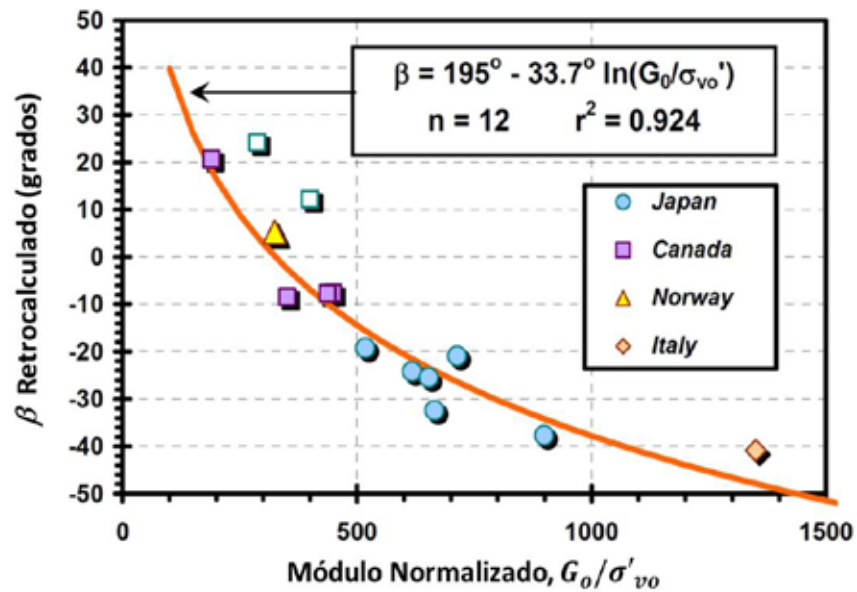


Figura 9. Relación entre G_{MAX} (o G_o en la Figura) y β

Donde:

γ_{SAT} = Peso Unitario Saturado (Total) en kN/m^3

V_s = Velocidad de onda de corte en m/s

z = Profundidad en m

ρ = Densidad total de masa en g/cm^3 , o 103 Kg/m^3

g = Aceleración de la gravedad en m^2/s

Adicionalmente, el valor de la densidad de

masa, ρ , a partir de la velocidad de onda de corte puede ser estimada, usando la siguiente ecuación (Mayne, 2001):

$$\rho = 0.277 + 0.648 \times \log(V_s)$$

Donde:

ρ = Es la densidad de masa en gr/cc

V_s = Es la velocidad de onda de corte en metros/segundo

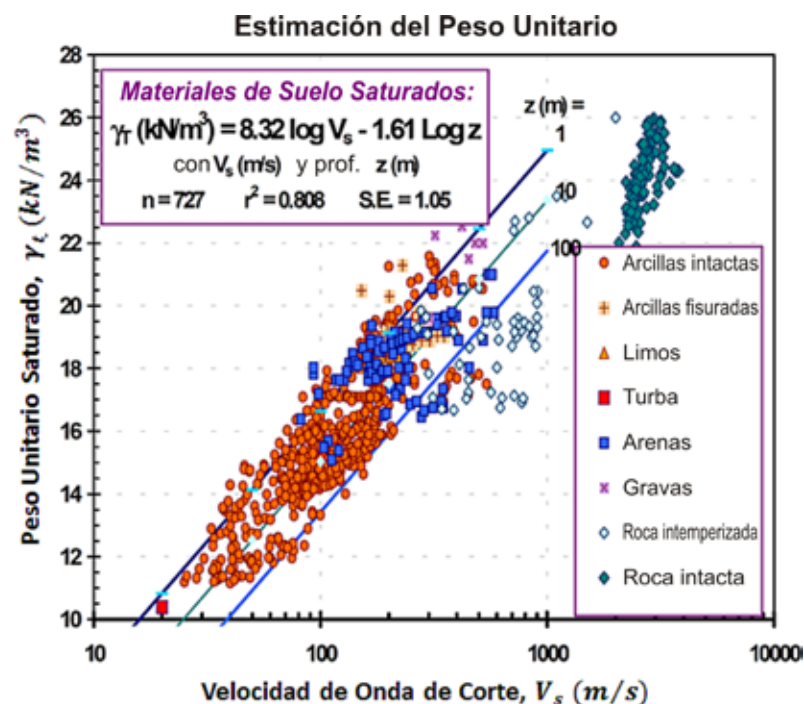


Figura 10. Estimación del Peso Unitario (Mayne, 2001).

La Figura 11 muestra la regresión correspondiente.

2.4. Determinación del Módulo de Corte Máximo

$$G_{MAX} = V_s^2 \rho = V_s^2 \frac{\gamma_t}{g}$$

Si no se cuenta con mediciones de velocidad de onda de corte, el Módulo de Corte para pequeñas deformaciones, G_{MAX} , se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$G_{MAX} = (q_t - \sigma'_{vo}) \times 0.0188 \times 10^{(0.55 \times I_c + 1.68)}$$

3. CONCLUSIONES

Para la caracterización de los suelos que conforman un talud cuyo deslizamiento potencial o real requiere de evaluación, es necesario caracterizar adecuadamente los materiales que lo integran, siendo la caracterización en cuanto al comportamiento de los suelos mucho más importante que la caracterización física, realizada en base a ensayos elementales de mecánica de suelos.

Se sugiere el uso del SCPTu como una herramienta útil que puede complementar a otras herramientas convencionales para la determinación del comportamiento del suelo ante la carga y para la determinación de parámetros que caractericen el comportamiento del suelo, permitiendo entre otras cosas la determinación del peso unitario total, la resistencia drenada y la resistencia no drenada.

La distribución de las presiones de agua en el cuerpo del suelo con respecto de la profundidad es de suma importancia en la evaluación de la estabilidad de un talud. Este dato, así como la permeabilidad y el coeficiente de consolidación del suelo, pueden ser determinados ejecutando ensayos de disipación de presiones de poros. El SCPTu puede determinar estos datos sin la necesidad de costosas perforaciones e instalación de piezómetros a diferentes niveles (multipunto) dentro de la sección transversal de análisis. Conociendo la geometría del talud, el régimen de presiones de agua, el peso unitario y la resistencia al corte, se pueden realizar evaluaciones de la estabilidad del talud. En el caso de proyectos importantes es conveniente estudiar el talud combinando datos de ensayos in-situ con muestreos inalterados y ensayos de laboratorio.

(*) Estudió en Estados Unidos ingeniería geotécnica. Trabajó en consultoría en USA, Venezuela, Colombia y el Perú. Fundo Tecnología y Proyectos S.A.C. (TECPROSA). Experiencia en el área de estabilidad de taludes, diseño de presas, análisis y diseño de cimentaciones para estructuras especiales. Ha usado el piezocono sísmico, SCPTu, en proyectos de presas y cimentaciones.

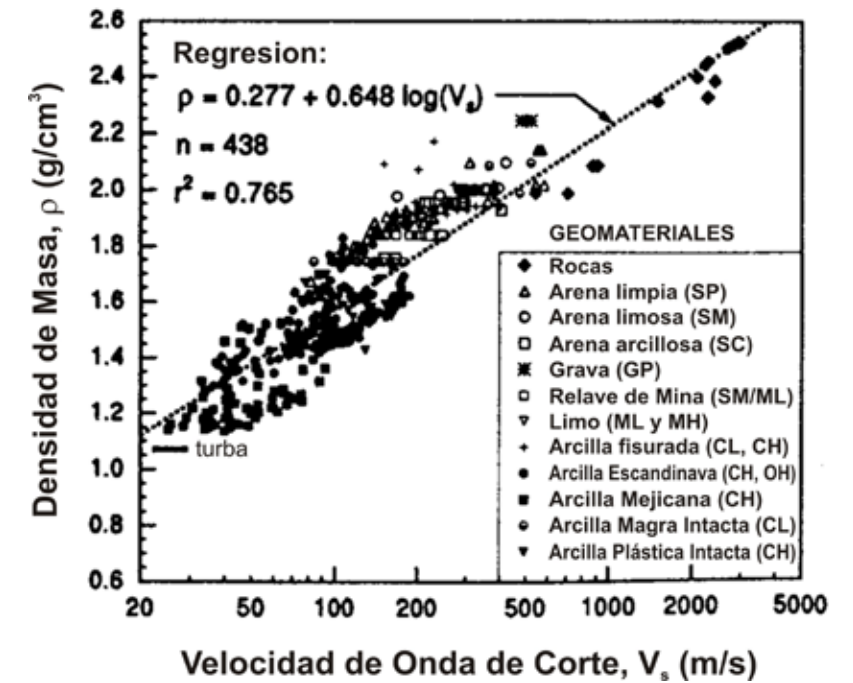


Figura 11. Correlaciones de Densidad de Masa y Velocidad de Onda de Corte.

Referencias

- Burns, S.E., and Mayne, P.W., 1998. "Monotonic and dilatant pore-pressure decay during piezocone tests in clay." Can. Geotech. J. 35: 1063–1073.
- DeGroot, D. J., and Ladd, C. C., 2012. "Site Characterization for Cohesive Soil Deposits Using Combined In Situ and Laboratory Testing". Geo-Congress 2012: State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering, ASCE Geo-Institute, Oakland, CA, USA. March 25 – 29, 2012. Slightly Revised: May 15, 2012.
- Janbu, N. & Senneset, K., 1977. "Effective Stress Interpretation of In Situ Static Penetration Tests".
- Jefferies, M. G. , and Been, K., 2006. Soil Liquefaction, A Critical State Approach. Taylor & Francis, New York.
- Kulhawy, F.H., and Mayne, P.H., 1990. Manual on estimating soil properties for foundation design, Report EL-6800 Electric Power Research Institute, EPRI, August 1990.
- Ladd, C. C., and DeGroot, D. J., 2003. "Recommended practice for soft ground site characterization: Arthur Casagrande Lecture." Proc., Soil and Rock America, P.J. Culligan, H. H. Einstein, and A. J. Whittle, eds., Verlag Gluckauf GMBH, Essan, Germany, Vol. 1, 3-57.
- Mayne, P.W., 2007. "Cone Penetration Testing, A Synthesis of Highway Practice." TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, WASHINGTON, D.C.
- Mayne, P.W., 2005. "Integrated ground behavior: in-situ and lab tests. Deformation Characteristics of Geomaterials", Vol. 2 (Lyon'03), Balkema, Rotterdam.
- Mayne, P.W., 2006. The Second James K. Mitchell Lecture: "Undisturbed sand strength from seismic cone tests". Geomechanics and Geoengineering: An International Journal, Vol. 1, No. 4, December, 239–257.
- Sandven, R., Senneset, K., y Janbu, N., 1988. "Interpretation of piezocone tests in Cohesive Soils", International Symposium on Penetration Testing. Balkema, Rotterdam, 939-953
- Robertson, P.K. and Cabal, K.L. , 2010. "Estimating soil unit weight from CPT." Gregg Drilling & Testing Inc., Signal Hill, California, USA
- Robertson, P. K., and Wride, C. E., 1998. "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test." Canadian Geotechnical Journal, 35(3), 442-459.
- Robertson, P.K., 1990. Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27(1): 151- 158.
- Robertson, P.K., 2009. Interpretation of the CPT: a unified approach. Manuscript submitted to the Canadian Geotechnical Journal.

Tecnología de TBS para recuperación de pavimentos

✍️ JORGE ESCALANTE ZEGARRA (*)

La tecnología del tratamiento superficial bicapa (TSB) con cemento asfáltico modificado con polímero SBS (AMP) es una alternativa de solución eficiente y de alto desempeño para la recuperación de pavimentos de alto volumen de tráfico que presentan fisuras con niveles de severidad medio a bajo.

La tecnología del tratamiento superficial bicapa (TSB) fue utilizada por el Consorcio Vial Sur del Perú, conformado por las empresas Cosapi S.A. y Mota Engil Perú para los trabajos de mantenimiento periódico y conservación vial de la carretera Panamericana Sur, en sectores del tramo Atico – Camaná – Pte Santa Rosa, de la región Arequipa. El tratamiento superficial bicapa con AMP, por su alto desempeño, garantiza el cumplimiento de los niveles de servicios contractuales, referidos a la calzada con presencia de parches y fisuras. Su naturaleza reforzada por el uso del asfalto modificado con polímero hace que el TSB no presente desprendimientos de los agregados, presente alta recuperación elástica a las fuerzas de torsión y tangenciales generadas por el tránsito así como una excelente capacidad de absorción de tensiones generadas en los tramos con presencia de fisuras, logrando establecer un nivel de confort y seguridad adecuado para el usuario.

Introducción

Durante los últimos años, ha surgido en el mundo un intenso interés en nuevamente utilizar tratamientos superficiales en la construcción y conservación de revestimientos asfálticos. La razón de esto es que los tratamientos superficiales co-

rrectamente proyectados y ejecutados resultan siendo una solución económica, de bajo consumo de materias primas y ejecución rápida, prestándose a una vasta gama de usos, desde tránsito leve en carreteras secundarias hasta un tránsito pesado y de alta velocidad. En algunos países como Australia, los tratamientos superficiales llegan a ser utilizados en hasta 90% de los casos de conservación de pavimentos flexibles.

Los tratamientos superficiales son un revestimiento flexible de poco espesor, ejecutado por el esparcimiento sucesivo de ligante bituminoso y agregado en operación simple o múltiple. El tratamiento simple (monocapa) se inicia, obligatoriamente, por la aplicación única del ligante, que será cubierto en seguida por una única capa de agregado (penetración “invertida”). Los tratamientos múltiples en todos los casos comunes se inicia con la aplicación del ligante que penetra de abajo para arriba (penetración “invertida”) en la primera capa del agregado, mientras que la penetración de las siguientes capas es tanto “invertida” como “directa”. Los tratamientos superficiales son capaces de trabajar con diferentes espesores, se adhiere firmemente a la superficie preparada y presenta una excelente textura antiderrapante durante su vida en servicio.

El Tratamiento superficial bicapa (TSB)

con asfalto modificado con polímero SBS (AMP), es un sistema que combina la tecnología de los asfaltos modificados con polímeros con las ventajas de fácil aplicación y rápida apertura al tráfico. La suma de estas características resulta en un sistema alternativo de alto desempeño, durable y económico en términos de costo/beneficio para prolongar la vida útil de los pavimentos.

1. Parámetros de selección

Los elementos que conllevan a la utilización de esta alternativa de solución son:

- Sectores en los que la evaluación del pavimento no arroja deficiencias estructurales, sino deficiencias funcionales.
- Necesidad de seleccionar un tratamiento que minimice las posibilidades de reflexión de fisuras con el tiempo, posibilitando el cumplimiento permanente de los niveles de servicio fijados en el contrato, referidos a fisuras y baches en la calzada.
- Carpetas asfálticas envejecidas con diversos tipos de deterioro, desde fisuras leves, hasta fisuras medias en bloques, que conllevan a trabajos de tratamiento de fisuras, fresados y reciclados previos a la aplicación del tratamiento propuesto.
- Selección de un tratamiento, que garantice un confort y seguridad adecuado al usuario.



→ 2. Bicapa en la Panamericana Sur

- Los agregados pétreos para la ejecución del tratamiento superficial bicapa deben ser 100% triturados y cumplir con todas las exigencias de calidad detallados en la siguiente tabla 1.
- El tamaño nominal del agregado fue escogido de acuerdo a las recomenda-

ciones del "Transport and road research laboratory" principalmente en función del tráfico y de la naturaleza de la superficie a tratar. En este caso por tratarse de un tránsito pesado e intenso se escogió agregados duros y de gradación tipo A para la primera capa y de gradación tipo C para la segunda capa, cumpliendo

TABLA 1: EXIGENCIAS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS

Ensayos	Especificaciones
Partículas del agregado con una cara fracturada (MTC E 210)	85% mín.
Partículas del agregado con dos caras fracturadas (MTC E 210)	60% mín.
Partículas Chatas y alargadas (MTC E-221)	15% máx
Abrasión (MTC E 207)	40% máx.
Pérdida en sulfato de sodio (MTC E 209)	12% máx.
Pérdida en sulfato de magnesio (MTC E 209)	18% máx.
Adherencia (MTC E 519)	+95
Terrones de Arcilla y Partículas Friables (MTC E212)	3% máx.
Sales solubles Totales (MTC E 219)	0.5% máx.

TABLA 2: RANGOS DE GRADACIÓN PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Ensayos	Porcentaje que pasa			
	Tipo de Material			
	A	B	C	D
25,0 mm. (1")	100	-	-	-
19,0 mm. (3/4")	90 – 100	100	-	-
12,5 mm. (1/2")	10 – 45	90 – 100	100	-
9,5 mm. (3/8")	0 – 15	20 – 55	90 – 100	100
6,3 mm. (1/4")	-	0 – 15	10 – 40	90 – 100
4,75 mm. (N° 4)	0 – 5	-	0 – 15	20 – 55
2,36 mm. (N° 8)	-	0 – 5	0 – 5	0 – 15
1,18 mm. (N° 16)	-	-	-	0 – 5

TABLA 3: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MATERIAL BITUMINOSO

ENSAYO	METODO ASTM	AMP SBS		Resultado
		Mínimo	Máximo	
Punto de ablandamiento, °C	D 36	60	----	65
Penetración, 25°C, 5 s, dmm	D 5	55	70	60
Punto de inflamación, °C	D 92	230	----	325
Recuperación elástica torsional, 25°C, %	NLT 329*	60	----	65
Recuperación elástica lineal, 25°C, %, método A, 10 cm	D 6084	85	----	90
Recuperación elástica lineal, 5°C, %, método A, 10 cm	D 6084	60	----	70
Ductilidad, 5°C, 5 cm/min, cm	D 113	15	----	33.8
Viscosidad Brookfield, 135°C, cP	D 4402	----	2000	1470
Viscosidad Brookfield, 145°C, cP	D 4402	----	1000	923
Viscosidad Brookfield, 175°C, cP	D 4402	----	----	224
Estabilidad al almacenamiento, 163°C, 48 horas	D 5976	Mínimo	Máximo	
Diferencia en Punto de ablandamiento, °C	D 36	----	5	1
Diferencia en Penetración, dmm	D 5	----	10	5
Sobre el residuo después de Película Fina	D 1754	Mínimo	Máximo	
Variación de masa, %	D 1754	----	1	0.348
Penetración, 25°C, 5 s, % del original	D 5	65	----	78
Ductilidad, 5°C, 5 cm/min, cm	D 113	8	----	13.4
Punto de ablandamiento, diferencia del original, °C	D 36	-5	+10	-1
Recuperación elástica lineal, 25°C, %	D 6084	65	----	80

con los requerimientos de los rangos de gradación de las EG 2000 representados en la siguiente tabla 2:

- La forma del agregado también fue un parámetro muy importante en la evaluación del dosaje de los materiales así como de la estabilidad y las características antiderrapantes del tratamiento superficial.
- Los agregados deben ser completamente limpios, libres de partículas menores de 0.5 y 0.005mm, respectivamente. La fracción arcilla (<0.005mm) es particularmente nociva impidiendo directamente la adherencia satisfactoria ligante/agregado.
- Los agregados deben ser secos para permitir desarrollar una adhesión adecuada con el cemento asfáltico modificado con polímero.
- Teniendo en consideración las condiciones climáticas (temperaturas muy elevadas y sectores que presentan una humedad ambiente alta), la intensidad y volumen de tráfico (carretera más importante del país con alto volumen de tránsito pesado y que transitan a altas velocidades), durante su vida de servicio, fue seleccionado como material bituminoso el asfalto modificado con polímero SBS.
- El material bituminoso aplicado fue un asfalto modificado con polímero SBS, de alta recuperación elástica, el mismo que cumplía las propiedades mínimas especificadas en la Tabla 3:

- El asfalto modificado con polímero SBS seleccionado, presenta las ventajas de excelente retención del agregado evitando los desprendimientos de los agregados, tiempo de apertura al tránsito corta, alta recuperación elástica a las fuerzas de torsión y tangenciales generadas por el tránsito así como una excelente capacidad de absorción de tensiones generadas en los tramos con presencia de fisuras, logrando establecer un nivel de confort y seguridad adecuado para el usuario.

3. Diseño de tratamiento superficial

La gran mayoría de los métodos de diseño utilizados son empíricos, envolviendo diversos ensayos y análisis de laboratorio y complementado por observaciones de campo. Para este diseño se utilizó el método del Instituto del Asfalto en razón de ser un método ampliamente aceptado y utilizado en los países de América Latina.

Para la ejecución de los trabajos, se realizó diseños de TSB con agregados de las canteras Autodema, San Maryorian y Pescadores.

De acuerdo al diseño realizado para la primera capa, fue determinada una tasa de aplicación de 1,6 lt/m2 de asfalto modificado con polímero y una tasa de 19 kg/m2 de agregado. Para la segunda capa una tasa de aplicación de 1,2 lt/m2 de asfalto modificado con polímero y una tasa de 13 kg/m2 de agregado. Estas tasas de aplicación fueron redistribuidas como se detalla en los cuadro 1 Y 2:

CUADRO 1

Tratamiento superficial (TSB)	Tasas de aplicación propuesto	
	Asfalto modificado con Polímero SBS (lt/m2)	Agregado Pétreo (kg/m2)
Primera Capa	1,4	19
Segunda Capa	1,4	13

CUADRO 2

Ensayo	% de Adhesol 5000	Especificación	Resultado
Adherencia , MTC E 521	0	+95	-95
Adherencia , MTC E 521	0,5	+95	+95



SIN ADITIVO



CON ADITIVO

Con el surgimiento de esta técnica, se consiguió dar una profunda evolución a la aplicación de los tratamientos superficiales tanto en su concepción como en el campo de aplicación. Éstas dejaron de ser una simple técnica de tratamiento superficial en carreteras secundarias (...)

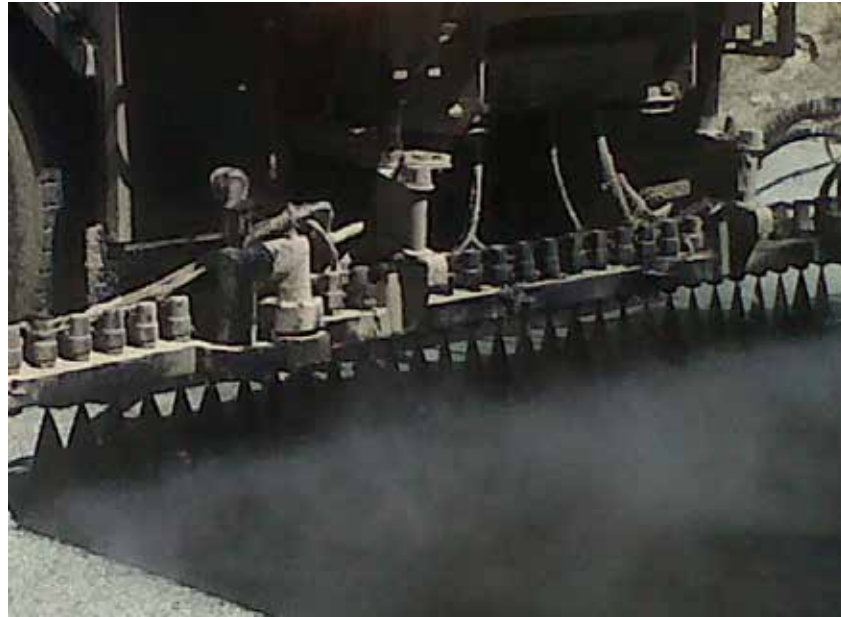
→ 4. Proceso constructivo

La maquinaria utilizada en el tratamiento superficial bicapa no es muy compleja y no requiere de grandes inversiones. El equipo de trabajo básico utilizado fue un camión distribuidor de asfalto, una gravilladora, un rodillo tándem, un rodillo neumático y una escoba mecánica. Para el abastecimiento del material fue utilizado un cargador frontal, camiones volquetes y un camión tanque móvil de ligante asfáltico con sistema de calentamiento propio. El camión distribuidor de asfalto es la pieza central del equipo de trabajo y éste debe estar provisto de un sistema de control de temperatura y recirculación del ligante asfáltico totalmente automático, así como un control de tasas de aplicación automática.

El camión distribuidor de ligante asfáltico fue adecuadamente calibrado teniendo en consideración la aplicación del ligante en doble traslape, determinándose, la velocidad de aplicación, altura de la barra esparcidora y ángulo de inclinación spray/barra. La gravilladora fue calibrada periódicamente, determinándose la velocidad de aplicación y abertura de la compuerta teniendo en consideración que éste varía en función a la granulometría, forma y pureza del agregado.

Para la aplicación del TSB con asfalto modificado con polímero se realiza un adecuado planeamiento de la jornada de trabajo, teniendo en consideración el área a ser aplicada a fin de contar con los recursos necesarios en materiales, equipos y mano de obra.

La aplicación del TSB se realizó en tramos de 1 a 2km, donde se dispuso la aplicación de la primera capa en uno de los carriles con un riego de ligante asfáltico modificado con polímero SBS a una tasa de 1,4 litros/m², seguido de la aplicación del riego de gravilla de 3/4", compactación y barrido. Inmediatamente después se dio apertura al tránsito para poder realizar la aplicación en el carril opuesto teniendo en consideración el mismo procedimiento, una vez concluida la aplicación de la primera capa, se realizó la aplicación de la segunda capa con un riego de ligante asfáltico modificado con polímero SBS a una tasa de 1,4 litros/m², seguido de la aplicación del riego de gravilla de 3/8", compactación y barrido tomando en consideración el mismo procedimiento de la primera capa.



CALIBRACIÓN DEL CAMIÓN ESPARCIDOR DE ASFALTO



CALIBRACIÓN DE LA GRAVILLADORA

Los tratamientos superficiales son un revestimiento flexible de poco espesor, ejecutado por el esparcimiento sucesivo de ligante bituminoso y agregado en operación simple o múltiple (...)

Teniendo en consideración que la apertura al tránsito se dio en un periodo de tiempo demasiado corto, durante la jornada de trabajo se dispuso el uso de una unidad guía para el control de velocidad de los vehículos a fin de evitar problemas de desprendimiento prematuro.

5. Consideraciones

La aplicación del tratamiento superficial bicapa con asfalto modificado con polímero requiere de ciertas consideraciones que deben ser tomadas entre las que podemos mencionar:



RIEGO DE ASFALTO MODIFICADO



APLICACIÓN DEL AGREGADO



PUESTA EN SERVICIO

La superficie a ser tratada deberá estar completamente seca y limpia.

Utilizar agregados 100% triturados, que presenten excelente resistencia a la abrasión y durabilidad, siendo extremadamente importante que los agregados estén completamente limpios y secos.

El asfalto modificado con polímero deberá ser calentado inmediatamente antes de aplicar el TSB a una temperatura entre 170 a 180 °C y mantener a esta temperatura únicamente durante el ciclo de aplicación de tal forma que se evite la oxidación del ligante asfáltico. Es también importante que todo el ligante asfáltico calentado sea utilizado dentro de la jornada de trabajo.

Durante la aplicación del TSB es extremadamente importante que el camión distribuidor de asfalto se encuentre a una distancia menor a 30m con respecto a la gravilladora, lo cual nos permite garantizar la temperatura adecuada del ligante asfáltico para lograr la adhesión del sistema ligante agregado.

Los equipos de compactación deberán estar a un espaciado mínimo (menor a 50m) de la gravilladora para lo cual se requiere una sincronización eficiente durante la aplicación.

El control de las tasas de aplicación del ligante asfáltico y el agregado es muy importante ya que pequeñas variaciones pueden significar el fracaso del tratamiento superficial.

Las juntas longitudinales y transversales requieren precauciones especiales para evitar la exudación o desagregaciones localizadas, para lograr una junta transversal perfecta, es necesario el uso de papel o geomembrana en un ancho de 1m a lo largo de las juntas al inicio y fin de cada descarga.

Las juntas longitudinales deben realizarse de manera escalonada para que eventuales defectos no se multipliquen.

La temperatura ambiente debe ser mayor a 10°C en ascenso debido a que en bajas temperaturas la temperatura del ligante asfáltico cae bruscamente, pudiendo perjudicar la adhesión del agregado al ligante asfáltico.

Contar con personal altamente calificado y de experiencia, especialmente los operadores del camión distribuidor de asfalto y la gravilladora.

Estricto control de calidad de materiales, equipos y procesos de aplicación.

6. Conclusiones

Con el surgimiento de esta técnica, se consiguió dar una profunda evolución a la aplicación de los tratamientos superficiales tanto en su concepción como en el campo de aplicación. Estas dejaron de ser una simple técnica de tratamiento superficial en carreteras secundarias para ser una alternativa como superficie de rodadura en carreteras de alto volumen de tránsito y en zonas que requerían excelentes condiciones de macro textura. Estas mejoras fueron alcanzadas gracias al empleo de los asfaltos modificados con polímeros. Aumentando la durabilidad de los pavimentos frente a las solicitudes de tráfico y de las variaciones climáticas. De los resultados de evaluación de los materiales utilizados y del diseño realizado se concluye que el tratamiento superficial doble (bicapa) con asfalto modificado con polímero SBS es una solución versátil para el mantenimiento de pavimentos en función de la rapidez de ejecución, liberación al tráfico en un periodo de tiempo muy corto, como excelentes propiedades mecánicas y de textura que el sistema proporciona. ●

(*) Gerente Técnico – Grupo TDM



Gaviones: solución eficaz

LUIS HERNÁN ARANA FAJARDO (*)

La tecnología de los gaviones ha evolucionado considerablemente desde la fabricación del primer gavión en Italia con forma cilíndrica en el año 1893 para el cerramiento de un desborde del río Reno, en la ciudad de Bolonia (Italia). Actualmente Latinoamérica se encuentra inmersa en un desarrollo y crecimiento económico y social que trae como una consecuencia positiva la necesidad de contar con tecnologías ingenieriles vanguardistas, eficaces y en armonía con el medio ambiente.

Nuestra región cuenta con las condiciones suficientes para explotar esta herramienta, los gaviones, en muchas de sus especialidades: vialidad y transporte, hidráulica, minería, entre otros. Los gaviones poseen muchas características que los diferencian de las soluciones convencionales, abriéndole así un nuevo panorama a la ingeniería y una nueva al-

ternativa que le proporcione resultados eficaces.

En la actualidad, el gavión se define como un elemento modular por lo general en forma de paralelepípedo, fabricado a partir de mallas y alambres que en conjunto con las piedras le dan la estabilidad necesaria al elemento.

El concepto de gavión se remonta a la cul-

tura egipcia, quienes fabricaban cestas de fibras naturales y tierra para la construcción de diques a la orilla del río Nilo. De igual manera en el Perú, en la cavilación más antigua del continente americano, en Caral, Valle del río Supe también se colocaron piedras envueltas con cabuya para utilizarlos en el lecho del río; estos elementos fueron hechos por nuestros antepasados.



Detalle de lo encontrado en Caral.

→ Es a finales del siglo XIX, exactamente en el año 1893 que Italia comienza a producir los primeros gaviones en forma de saco a orillas del río Reno (Italia), para prevenir las inundaciones que podrían afectar a la población aledaña a la zona en cuestión. Es así que Italia se convierte en la precursora de la fabricación de gaviones, siendo en el año 1907 cuando se producen los primeros gaviones rectangulares, tal como se conocen en la actualidad. Los primeros gaviones fueron fabricados con acero galvanizado comercial. Con el pasar de los años y el desarrollo industrial, actualmente se puede contar gaviones fabricados de acero y Zinc para evitar la corrosión, revestimientos adicionales de PVC para ambientes más pesados y la inclusión de nuevas aleaciones como el Galfan, cuya función es evitar la corrosión proporcionando una vida útil superior a las aleaciones convencionales.

En la última década, los países latinoamericanos invierten gran parte del presupuesto nacional en la construcción de nuevas vías y carreteras que les permitan afrontar el crecimiento económico de la región. Por este motivo, el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones encuentran en los gaviones una solución eficaz.

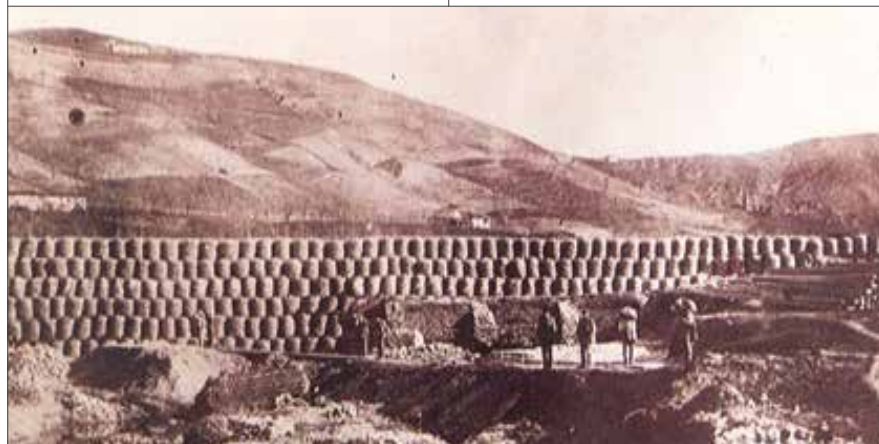
El desarrollo de nuevas tecnologías y el avance de los estudios en el campo de la ingeniería, han hecho que los gaviones evolucionen y han dado origen a nuevos productos y soluciones. Tal es el caso del denominado Terramesh System, una solución que nace a partir del concepto de los muros de contención a gravedad y que conjuntamente con la teoría de los muros de suelo reforzado dan como resultado un nuevo sistema.

Básicamente un elemento Terramesh consiste en un elemento de tipo gavionado, con la particularidad de contar con un elemento de refuerzo compuesto por una malla de refuerzo que le proporciona la característica principal del elemento y la cual forma parte del paramento frontal: su función principal es interactuar con el suelo a manera de refuerzo (Teoría de los Muros de Suelo Mecánicamente Reforzados).

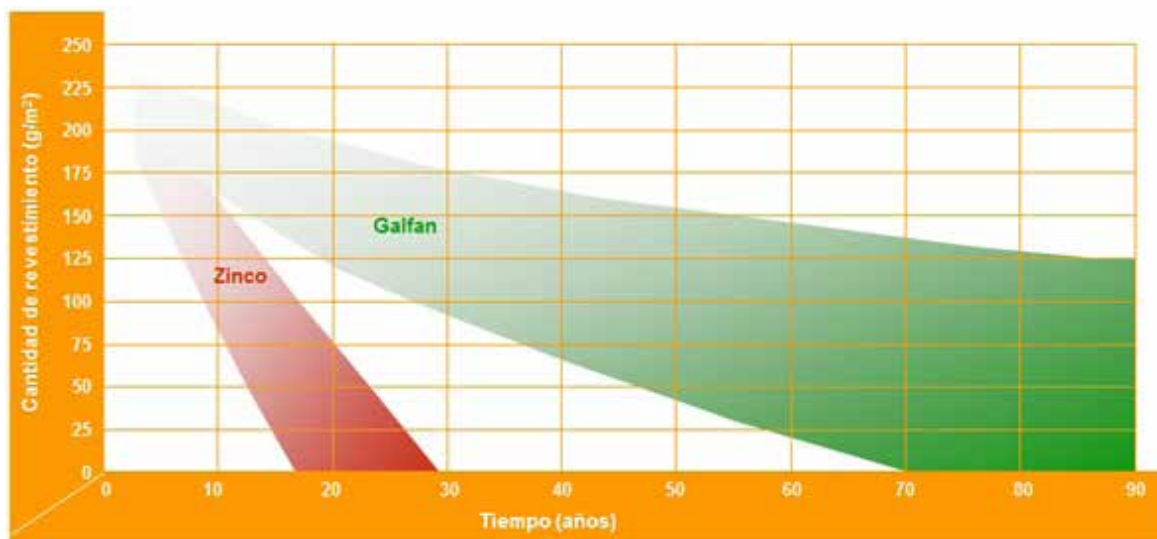
En el ámbito latinoamericano, el uso de los gaviones se ha diversificado en distintos campos de la ingeniería. Las condiciones orográficas e hidráulicas de este lado del continente hacen de los gaviones y sus derivados una manufactura esencial y de gran acogida por la versatilidad y ventajas ambientales y constructivas que poseen.

Características

En la actualidad, los gaviones se producen en distintos diámetros, distintas medidas de cocada de mallas y con distintos revestimientos en el alambre, los cuales van a variar según el proyecto en el que van a ser utilizados.



Colocación de los primeros gaviones a orillas del Río Reno.



Gráfica de comparación de la vida útil del Zinc vs. Galfan.

La malla que compone al gavión, es denominada malla doble torsión, debido a la cantidad de vueltas que se pueden apreciar entre los alambres que la componen según, se aprecia en la siguiente imagen: Como se puede apreciar, se llega a la doble torsión a realizar cuatro medias vueltas con dos alambres; estas medias vueltas deberán formar 3 nudos, nudos esenciales que aseguran la capacidad a la tensión de los alambres y del gavión como elemento.

Asimismo, el alambre puede ser zincado o revestido con la aleación denominada

Los gaviones poseen muchas características que los diferencian de las soluciones convencionales, abriéndole así un nuevo panorama a la ingeniería y una nueva alternativa que le proporcione resultados eficaces.

Galfan (Zn + %5 Al + Otros), cuyas ventajas relacionadas con la vida útil del gavión fueron explicadas líneas arriba. De igual manera a ambas presentaciones, se le puede agregar el revestimiento de PVC, el

cual le brindará una protección adicional frente a las inclemencias ambientales.

Con respecto al diámetro del alambre utilizado, éste puede variar desde los 2.00 mm hasta los 4.4mm, siendo los más comerciales los diámetros de 2.40, 2.70 y 3.00mm, ya que son las medidas más manejables constructivamente y más estables como material.

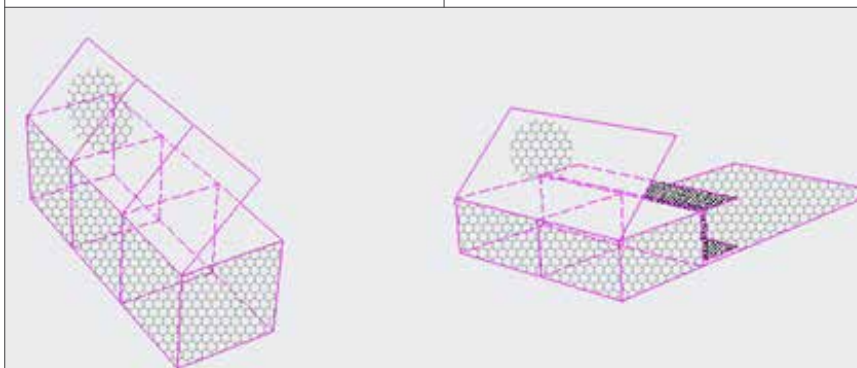
El uso de los gaviones comprende un frente amplio. En Latinoamérica, los gaviones desempeñan un rol importante dentro de la ingeniería geotécnica e hidráulica y llega a abarcar distintas soluciones aplicadas a los sectores transporte, minería, sector ambiental, entre otros.

Vialidad y Transporte.- En la última década, los países latinoamericanos invierten gran parte del presupuesto nacional en la construcción de nuevas vías y carreteras que les permitan afrontar el crecimiento económico de la región. Por este motivo, el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones encuentran en los gaviones una solución eficaz.

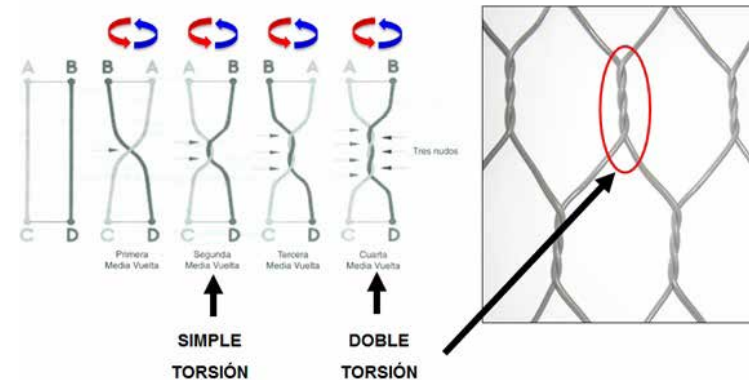
Las soluciones más utilizadas son las estructuras de contención a gravedad en gaviones y los muros de suelo reforzado empleando el Terramesh System. La problemática más común de las nuevas carreteras a construir es el difícil acceso generado por las condiciones topográficas de la región, que traen consigo la necesidad de construir plataformas que permitan el desarrollo normal de la vía.

Hidráulica.- Latinoamérica cuenta con grandes cuencas hidrográficas y grandes ríos que cruzan gran parte del continente y que significan una herramienta para el desarrollo económico y social de las comunidades que se encuentran a sus orillas. Debido a ello, es importante conocer el comportamiento de los ríos y la manera de cómo nos puede afectar.

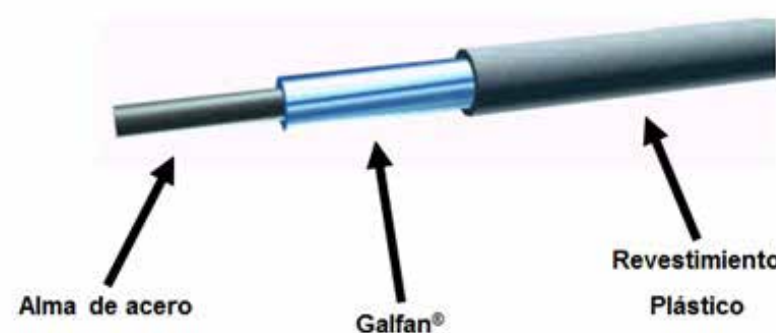
Por obra fluvial, se entiende toda aquella estructura construida dentro del cauce del río; considerando a los ríos como organismos vivos y naturales, es indispensable



Comparación entre un Gavión Caja y Terramesh System.



Malla doble torsión.



Composición del alambre.



▲ Muro empleando Terramesh System – Carretera Interoceánica Sur Km. 703, Perú – Brasil.



▲ Muro de Contención a gravedad empleando Gaviones.

- Muros de contención en Accesos
- Estabilización de grandes plataformas de suelo
- Canalizaciones

Ventajas:

Simplicidad Constructiva.- Los proyectos con gaviones o Terramesh System presentan una amplia adaptabilidad y son de construcción rápida, ya que no se necesita mano de obra especializada ni herramientas o equipos especiales. Los elementos son de fácil montaje y de funcionamiento inmediato. Asimismo, las piedras que se colocan en el interior de las cajas pueden aprovecharse del mismo lugar de la obra.

Impacto Ambiental.- Los gaviones tienen una elevada capacidad de integración al medio ambiente, ya que al emplear piedras cuenta con la capacidad de permitir el crecimiento de vegetación entre las mallas y así quedar totalmente revegetado e imperceptible, logrando así una integración gavión-ambiente natural.

Impacto Social.- Al no requerir de una mano de obra especializada, estos elementos pueden aprovechar la mano de obra disponible en el lugar en donde se esté ejecutando el proyecto, facilitando así la integración social y generando beneficios económicos para la población local.

Economía.- Los materiales y la mano de obra hacen que este tipo de soluciones sea considerablemente más económico que las soluciones convencionales utilizadas en ingeniería. Los costos directos e indirectos de este tipo de proyectos son bajos en comparación con otro tipo de obras.

Los gaviones tienen una elevada capacidad de integración al medio ambiente, ya que al emplear piedras cuenta con la capacidad de permitir el crecimiento de vegetación entre las mallas y así quedar totalmente revegetado e imperceptible, logrando así una integración gavión-ambiente natural.

que cualquier tipo de intervención tenga un impacto ambiental mínimo y que se integre, rápida y eficientemente con el entorno circundante. Es de esta manera, que la hidráulica, encuentra en los gaviones una solución bastante eficaz para problemas recurrentes como las inundaciones, erosiones, entre otros problemas que son causados por las constantes crecidas de los ríos. Los gaviones pueden utilizarse principalmente a manera de:

- Defensas ribereñas, remplazando a los convencionales enrocados.
- Espigones, para controlar el efecto erosivo en las márgenes de los ríos y generar la recuperación de márgenes.
- Diques de contención de sedimentos.

- Revestimiento de canales.
 - Escaleras disipadoras.
 - Protección de alcantarillas y/o emboquillados.
- Minería.-** La minería es una de las principales actividades económicas de Latinoamérica y a la vez una de los potenciales mercados para el uso de los gaviones y Terramesh. En una mina se pueden encontrar infinidad de usos para la construcción de muros de contención y muros de suelos reforzados, entre los cuales se pueden proyectar en las siguientes estructuras.
- Chancadoras Primarias
 - Recrecimientos de Presas



▲ Espigones y defensa ribereña empleando Gaviones – Villa Toscana, San Martín - Perú.



▲ Dique de Contención – Perú.

Durabilidad.- El alambre que sirve de materia prima para la fabricación de los gaviones, está sujeto a una serie de normas internacionales que garantizan una vida útil extensa. Asimismo, dicho alambre puede contar con revestimientos adicionales de PVC u otro material que proporcionen mayor capacidad de resistencia a la intemperie.

Diseño.- Las soluciones en gaviones y Terramesh conforman estructuras flexibles que le permiten adaptarse fácilmente a las deformaciones y movimientos del terreno sin llegar a volverse inestable, en comparación con los sistemas convencionales que son estructuras rígidas. Asimismo, este tipo de soluciones no necesitan cimentaciones profundas y se adecúan a los suelos de baja capacidad portante. Finalmente, se puede llegar a la conclusión de que los gaviones son estructuras totalmente versátiles y que se pueden emplear en muchos campos no solo de la ingeniería civil como tal, sino también a campos de la ingeniería minera, ingeniería geotécnica, entre otras.

Asimismo, está comprobado que su uso no se limita a las carreteras, minas, sino que debido a su gran armonía con la naturaleza y relacionado con la creciente ideología de la ingeniería ambiental, el gavión se afianza como un material de construcción urbano para edificaciones y el desarrollo de estructuras en las ciudades. En el campo de la Infraestructura Vial, el gavión ya es considerado un elemento imprescindible dentro de los más importantes proyectos desarrollados en Latinoamérica, solo basta recorrer los grandes proyectos viales a lo largo de los países para poder encontrar su presencia y valorar su importancia en dichos proyectos.

(*) e-mail: luis.arana@maccaferri.com.pe



▲ Plataforma Área de Flotación – Mina Cerro Verde.



▲ Chancadora Primaria – Mina Alto Chicama.

El concepto de Mezclas Asfálticas Sostenibles está referido a Mezclas Asfálticas Tibias Modificadas con Polímeros que brinden un alto desempeño técnico pero que a su vez reduzcan el impacto sobre el medio ambiente, al requerir temperaturas de producción y consumos energéticos menores.



Mezclas asfálticas sostenibles en las rutas de Lima

JONATHAN VERA SILVA (*)
ALEJANDRO RADICE ANCAROLA (**)

Introducción

Rutas de Lima, concesionaria de los tres principales accesos a la ciudad de Lima con subtramos viales que presentan flujo superior a los 220 000 vehículos día, requería desde un inicio, efectuar la recuperación estructural del pavimento existente para garantizar una vida útil de 8 años. Por este motivo no dudó en adoptar, como solución, la aplicación de mezclas asfálticas en caliente modificadas con polímeros SBS debido a la mejora de sus propiedades mecánicas y de su desempeño durante su vida útil, y si bien los resultados fueron satisfactorios, durante la ejecución de los trabajos se observó que en virtud del rápido descenso de la temperatura, (trabajo nocturno) y un reducido tiempo de trabajo (5 hs/noche), estas prestaciones podrían ser afectadas.

Esta situación obligó a investigar un poco más y el resultado es la difusión del presente proyecto, el cual pretende colaborar con la Comunidad Vial introduciendo el concepto de Mezclas Asfálticas Sostenibles, es decir, Mezclas Asfálticas Tibias Modificadas con Polímeros que mantengan un adecuado desempeño técnico pero que a su vez reduzcan el impacto sobre el medio ambiente, al requerir temperaturas de producción y consumos energéticos menores, en alineamiento con la política ambiental definida en la Bandera de Sostenibilidad de la Organización.

Metodología

Las mezclas asfálticas evaluadas en el proyecto se fabricaron con un cemento asfáltico base PEN 60-70, polímeros SBS, aditivo Evotherm y agregados de las canteras de Lima, con granulometría MAC-2 de acuerdo a la norma vigente EG-2013. La implementación de las mezclas asfálticas sostenibles consideró las siguientes etapas principales:

Tramo de prueba:

Con fecha 20 de mayo de 2015 se realizó la aplicación de la mezcla tibia en un tramo de prueba de 1.5 kilómetros con el fin de conocer los procesos de producción de mezcla y aplicación en campo con esta nueva tecnología, resultando como la primera experiencia en el Perú.

Posteriormente, se realizaron los ensayos convencionales a la capa compactada como: Peso unitario, porcentaje de vacíos, contenido de asfalto, granulometría, IRI, textura, etc., cumpliendo todos los parámetros con las especificaciones exigidas en la norma peruana vigente.

Ensayos avanzados de laboratorio:

Con el aval del cumplimiento de los requerimientos técnicos convencionales, se procedió a caracterizar el desempeño dinámico de las mezclas tibias modificadas con polímeros. Para lo anterior, se realizó la verificación del diseño Marshall por el método Superpave usando el Compacta-

dor Giratorio, se ejecutaron los ensayos de TSR con el cabezal Lottman para evaluar la adherencia de la mezcla y se realizaron los ensayos cíclicos de ahuellamiento en Rueda Cargada de Hamburgo y fatiga en Flexión de Viga en 4 Puntos.

Inicio de aplicación continua:

Luego de las capacitaciones al personal involucrado en la producción y colocación de la mezcla tibia a cargo de profesionales especialistas, con fecha 13/08/2015 se dio inicio a la aplicación continua de esta tecnología que será utilizada hasta la culminación de las actividades de pavimentación en el tramo Panamericana Sur. Se registran continuamente las temperaturas de producción y las correspondientes densidades obtenidas en campo para la definición de los patrones óptimos de temperatura de producción y de los ciclos de compactación, maximizando así sus beneficios.

Monitoreo de aspectos ambientales:

De forma análoga al acompañamiento técnico, se realiza un seguimiento continuo de la cantidad de combustible utilizada en planta y de los gases de efecto invernadero evitados por el uso de las mezclas sostenibles.

La Figura 1 presenta el diagrama de flujo con el resumen de la metodología utilizada para la implementación de las mezclas sostenibles.

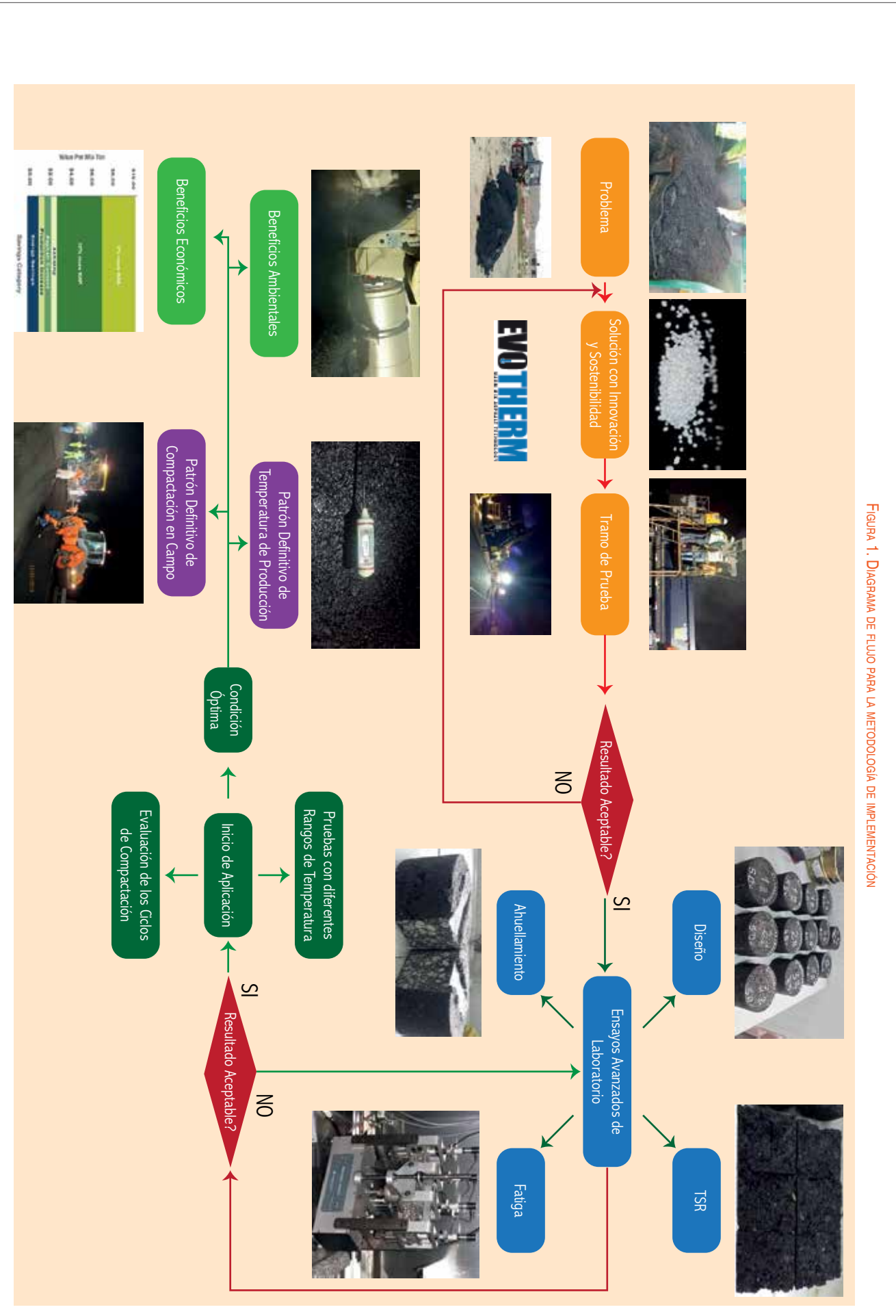


Figura 1. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN

Los resultados obtenidos de la implementación de las mezclas asfálticas sostenibles en la concesionaria Rutas de Lima se dividieron en dos conceptos generales, detallados a continuación.

Beneficios Técnicos

Mejorador de adherencia.- Para los diseños de mezcla asfáltica tibia utilizados en el tramo se fabricaron briquetas en laboratorio, para evaluar el desempeño de su adhesividad y cohesividad debido a la acción del agua a través del ensayo de “Efecto de Humedad en Mezclas de Concreto Asfáltico” (AASHTO T - 283).

La Tabla 1 presenta los resultados del ensayo de susceptibilidad a la humedad realizado a mezclas asfálticas sin mejorador de adherencia, con mejorador de adherencia, y sin mejorador de adherencia con inclusión de aditivo químico Warm Mix.

De los resultados se observa la necesidad de utilización del mejorador de adherencia para las mezclas en caliente, sin embargo las probetas con Warm Mix ensayadas no presentan zonas descubiertas en la mezcla ni desprendimientos significativos por

lo que la mezcla asfáltica tibia modificada con polímeros, a diferencia de la mezcla asfáltica en caliente, no requiere mejorador de adherencia, debido al cumplimiento satisfactorio del valor mínimo de 80% para el ensayo TSR exigido en la especificación vigente EG-2013.

Resistencia al ahuellamiento.- Para los diseños de mezcla tibia con polímeros, utilizados en el proyecto, se fabricaron briquetas en laboratorio, compactadas con el

Compactador Giratorio Superpave, para medir su resistencia al ahuellamiento o deformación permanente a través del ensayo de “Rueda de Hamburgo para mezclas asfálticas en caliente compactadas” (AASHTO T - 324).

La Figura 2 muestra como referencia los resultados obtenidos para las briquetas elaboradas con el diseño MAC-AM-013, tanto para la mezcla asfáltica en caliente como la mezcla asfáltica tibia.

FIGURA 2. RESULTADOS DEL ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO (AASHTO T - 324)

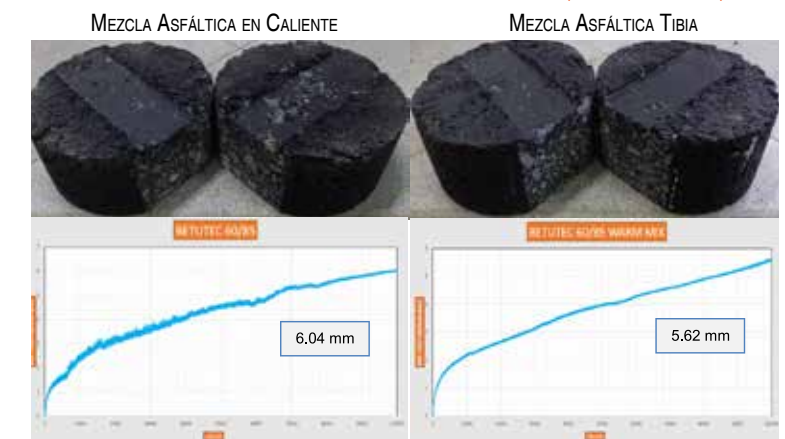


Tabla 1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD (AASHTO T - 283)

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, SIN MEJORADOR DE ADHERENCIA		PARÁMETROS:
		Vacios: 6% a 8% Asfalto Óptimo: 5.8%
RESULTADOS:		Resist. seca: 7.4 kg/cm ² Resist. húm.: 5.0 Kg/cm ² TSR: 67.9% (No Cumple)
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, CON MEJORADOR DE ADHERENCIA		PARÁMETROS:
		Vacios: 6% a 8% Asfalto Óptimo: 5.8%
RESULTADOS 0.3/0.5%:		Res. seca: 7.3/7.8 kg/cm ² Res. húm.: 5.9/7.2 Kg/cm ² TSR: 80.8/93.0%
MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA, SIN MEJORADOR Y CON ADITIVO WARM MIX		PARÁMETROS:
		Vacios: 6% a 8% Giros en SGC: 30 Asfalto Óptimo: 5.8%
RESULTADOS:		Resist. seca: 7.96 kg/cm ² Resist. húm.: 6.69 Kg/cm ² TSR: 84.1% (Cumple)



La mezcla asfáltica tibia modificada con polímeros no es susceptible al ahuellamiento o deformación permanente, presentando un comportamiento similar a la mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros.

Resistencia a la fatiga.- De manera similar al ensayo anterior, para los diseños de mezcla empleados en el tramo se fabricaron vigas en laboratorio, compactadas con el Compactador de Placas, para medir su resistencia a la fatiga dinámica a través del ensayo de "Determinación de la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas compactadas sometidas a flexión repetida de viga en 4 puntos" (AASHTO T - 321).

Las mezclas asfálticas sostenibles presentan un mejor comportamiento mecánico, con mayores niveles de resistencia al daño por humedad, al ahuellamiento y a la fatiga por cargas de tráfico.

La Figura 3 expone como referencia los resultados obtenidos para las vigas elaboradas con el diseño MAC-AM-019, tanto

para la mezcla asfáltica en caliente como la mezcla asfáltica tibia.

De las gráficas se observa que la mezcla asfáltica tibia modificada con polímeros presenta un mayor número de ciclos o repeticiones hasta cumplir el criterio de falla, lo cual se traduce en una mayor vida útil o mayor resistencia a la fatiga de la mezcla asfáltica tibia en comparación con la mezcla asfáltica en caliente.

Grado de compactación y % de vacíos.- Debido a la problemática existente de las bajas densidades obtenidas en la capa asfáltica de refuerzo, se implementaron las mezclas asfálticas tibias con el objetivo de mejorar la trabajabilidad y compactabilidad de las mismas a través del uso del aditivo químico Warm Mix denominado Evotherm 3G, que permite reducir las temperaturas especialmente en mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

En lo referido a la implementación, con fecha 20/05/2015 se realizó la pavimentación de un tramo de prueba de 1.5 kilómetros con la mezcla asfáltica tibia, con el fin de tener la primera experiencia en Perú a escala real y dar inicio al conocimiento y dominio de esta nueva tecnología. Así, con fecha 13/08/2015 se reinició de manera continua la aplicación de mezclas asfálticas tibias que serán utilizadas hasta la culminación de las actividades de pavimentación. La Figura 4 presenta los rangos de temperaturas usados en las primeras semanas de implementación de esta tecnología, en los cuales los primeros tres volquetes son cargados a la temperatura "convencional" de 170°C para producción de mezcla en caliente con polímeros, y en los siguientes se realiza una disminución gradual de dichas temperaturas hasta la culminación de la jornada diaria. El objetivo fue evaluar en campo las densidades alcanzadas para las diferentes temperaturas utilizadas, a fin de obtener el patrón definitivo de producción de mezclas tibias con un sólo valor de temperatura que garantice el cumplimiento de las propiedades volumétricas de la mezcla y ofrezca rangos de tiempo adecuados para la compactación en campo.

La Tabla 2 muestra el resumen de los resultados obtenidos para el período de agosto 2015, de los parámetros Grado de Compactación y Porcentaje de Vacíos de Aire en función de las temperaturas de aplicación de la mezcla tibia.

FIGURA 3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN DE VIGA E 4 PUNTOS (AASHTO T - 321)

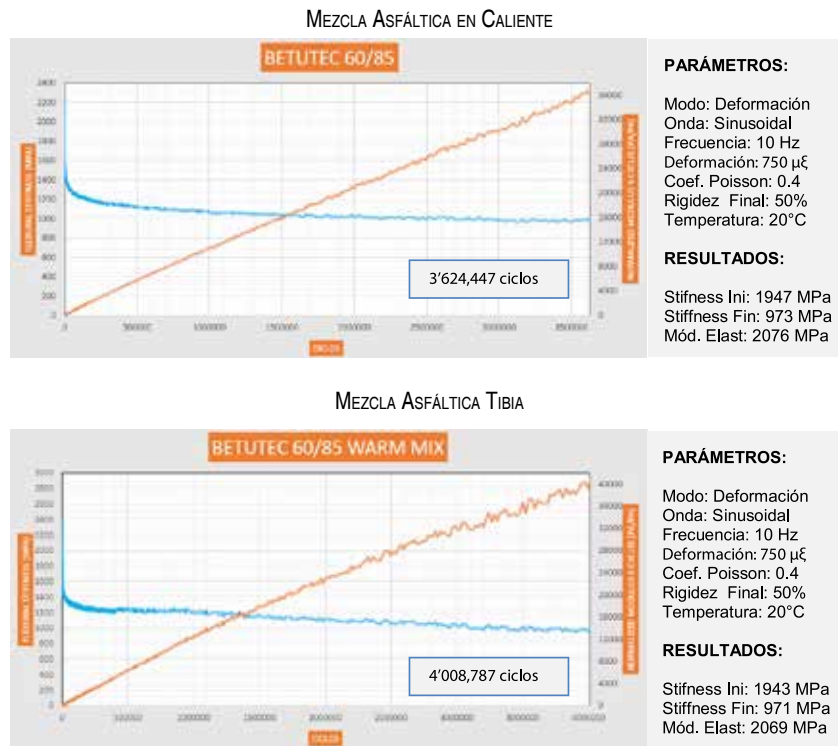


FIGURA 4. RANGOS DE TEMPERATURAS DE PRODUCCIÓN PARA MEZCLAS TIBIAS

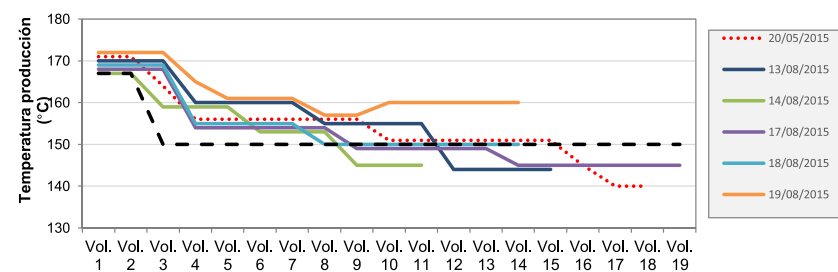


TABLA 2. RESULTADOS DE GRADO DE COMPACTACIÓN Y % DE VACÍOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS



**TRAMO PANAMERICANA SUR
MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA CON ASFALTO MODIFICADO - WARM MIX**

FECHA PRODUCCIÓN	TEMPERATURA DE PRODUCCIÓN PROYECTADA: 170°C			TEMPERATURA DE PRODUCCIÓN PROYECTADA: 160°C			TEMPERATURA DE PRODUCCIÓN PROYECTADA: 155°C			TEMPERATURA DE PRODUCCIÓN PROYECTADA: 150°C			TEMPERATURA DE PRODUCCIÓN PROYECTADA: 145°C																		
	13 ago	17 ago	18 ago	13 ago	14 ago	14 ago	13 ago	17 ago	17 ago	17 ago	18 ago	18 ago	13 ago	14 ago	14 ago	13 ago	14 ago	14 ago													
PROM.	169	169	168	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169													
TEMPERATURA REAL PRODUCCIÓN (°C)	169	169	168	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169													
TEMPERATURA ESPARCIDORA (°C)	166	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167													
TEMPERATURA COMPACTACIÓN INICIAL (°C)	165	164	166	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165													
DELTA TEMPERATURA COMPACTACIÓN (°C)*	-5	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5													
"PESO UNITARIO NÚCLEO (G/CM3)"	2.437	2.440	2.387	2.430	2.506	-	2.375	2.452	2.357	2.407	-	2.420	2.399	2.405	2.463	2.435	2.459	-	2.419	2.355	2.453	2.395	2.441	-	2.427	2.322	2.436	2.347	2.407	2.411	-
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	101.2	101.3	97.1	98.8	101.9	100.0	98.6	101.8	97.9	97.9	99.0	100.4	99.6	97.8	100.2	99.0	100.0	99.5	98.4	95.8	99.8	97.4	99.3	98.1	100.8	96.4	101.1	97.4	97.9	98.0	98.6
"VACÍOS DE AIRE (%)"	3.2	3.1	6.8	5.1	2.2	4.1	5.6	2.6	6.3	6.0	5.1	3.9	4.7	6.1	3.8	5.0	4.0	4.6	5.6	8.1	4.2	6.5	4.7	5.8	3.6	7.7	3.2	6.7	6.0	5.9	5.5
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	101.0	101.1	96.9	99.2	102.1	100.1	98.5	101.7	97.8	98.1	99.0	100.3	99.5	97.7	100.5	99.2	100.2	99.6	98.3	95.7	100.1	97.7	99.6	98.3	100.6	96.3	101.0	97.4	97.8	97.9	98.5
"VACÍOS DE AIRE (%)"	3.6	3.5	7.5	5.4	2.3	4.4	6.0	2.4	6.2	6.2	5.2	4.2	4.5	6.8	4.1	5.1	4.1	4.8	6.2	8.7	4.5	6.8	5.0	6.2	3.9	8.1	3.0	6.5	6.7	6.6	5.8

(*) Con referencia a la temperatura de producción con mezcla en caliente sin Warm Mix: 170°C

Como se observa en la tabla, la implementación de la mezcla asfáltica tibia permitió el cumplimiento del grado de compactación mínimo de 98%, exigido en la norma peruana vigente EG-2013, así como del porcentaje de vacíos menor al 7%, superando de esta manera el principal inconveniente registrado con la mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros. Asimismo de las pruebas realizadas, quedó demostrado que la mezcla asfáltica tibia puede ser efectivamente compactada hasta en 30°C menos que la temperatura usada convencionalmente para mezclas en caliente modificadas con polímeros.

Beneficios Ambientales

Para conocer los beneficios ambientales de las mezclas asfálticas tibias se realizaron mediciones diarias del consumo de combustible utilizado en el proceso de producción en planta y de los GEI's evitados por dicho ahorro energético. A continuación se exponen los resultados promedio calculados para el período de agosto 2015.

Consumo de combustible.- La cuantificación del combustible utilizado para la producción de mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas tibias se presenta en la **Tabla 3** y la **Tabla 4** respectivamente, se-

Las mezclas asfálticas evaluadas en el proyecto se fabricaron con un cemento asfáltico base PEN 60-70, polímeros SBS, aditivo Evotherm y agregados de las canteras de Lima, con granulometría MAC-2 de acuerdo a la norma vigente EG-2013.

gún los componentes básicos que se consideraran en el proceso de fabricación de mezclas en planta.

La mezcla asfáltica tibia modificada con polímeros permitió obtener una reducción en el consumo de combustible al 86%, en comparación al combustible utilizada con la mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros.

Emisión de gases de efecto invernadero.- La implementación de la tecnología Warm

Mix permitió obtener temperaturas de producción más bajas que se traducen en menos combustible utilizado en el tambor-secador de la planta de asfalto, y menos humos y partículas emitidas en el ambiente de trabajo.

A continuación, la **Figura 5** presenta un panel comparativo de las emisiones y humos generados con la mezcla asfáltica en caliente y la mezcla asfáltica tibia.

En las fotografías anteriores se demuestra que la mezcla asfáltica tibia modificada con polímeros genera una cantidad de emisiones significativamente menor, en comparación con la mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros.

Con el objetivo de cuantificar los humos generados en el proceso de producción en planta, se tiene planificado iniciar un estudio para medición de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se emiten en las chimeneas. Complementariamente, a partir de la información de la cantidad reducida de combustible usado en planta, se realizó el cálculo de los gases de efecto invernadero evitados en la producción de la mezcla asfáltica tibia.

La **Tabla 5** presenta la estimación de los GEI's evitados por el consumo de Diesel B5 Estacionario, en términos de kilogramos de CO₂e.

TABLA 3. CONSUMO DE ENERGÍA EN PLANTA PARA PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Descripción	Cantidad	Mezcla Tibia	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Diesel para calentamiento térmico del asfalto	5.60	2.05	18.00	Hr/Día	100.80	Gal/Día
Diesel para producción de mezcla asfáltica	2.50	7.76	255.00	M3/Día	637.50	Gal/Día
Diesel para energía eléctrica 380 KW (475 KVA)	11.00	43,937	5.00	Hr/Día	55.00	Gal/Día
Combustible para iluminación 1 x 4.6 KW	3.00	340,921	5.00	Hr/Día	15.00	Gal/Día
					808.30	Gal/Día

TABLA 4. CONSUMO DE ENERGÍA EN PLANTA PARA PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA

Descripción	Cantidad	Mezcla Tibia	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Diesel para calentamiento térmico del asfalto	5.60	2.05	18.00	Hr/Día	100.80	Gal/Día
Diesel para producción de mezcla asfáltica	2.05	7.76	255.00	M3/Día	522.75	Gal/Día
Diesel para energía eléctrica 380 KW (475 KVA)	11.00	43,937	5.00	Hr/Día	55.00	Gal/Día
Combustible para iluminación 1 x 4.6 KW	3.00	340,921	5.00	Hr/Día	15.00	Gal/Día
					693.55	Gal/Día

FIGURA 5. PROCESO CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL CON LAS MEZCLAS TIBIAS MODIFICADAS



TABLA 5. CONSUMO DE ENERGÍA EN PLANTA PARA PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA

Descripción	Mezcla en Caliente	Mezcla Tibia
Consumo de Diesel B5 en planta, en galón/m ³	2.50	2.05
Consumo de Diesel B5 en planta, en litro/m ³	9.46	7.76
Volumen de mezcla asfáltica por ejecutar, en m ³	43,937	43,937
Volumen de Diesel B5 estacionario, en litros	415,757	340,921
Factor de emisión de Kg CO ₂ por litro	2.54152360000	2.54152360000
Potencial de calentamiento global de CO ₂	1	1
Emisión de CO ₂ e	1,056,656	866,458
Factor de emisión de Kg CH ₄ por litro	0.00010757520	0.00010757520
Potencial de calentamiento global de CH ₄	25	25
Emisión de CO ₂ e	1,118	917
Factor de emisión de Kg N ₂ O por litro	0.00002522160	0.00002522160
Potencial de calentamiento global de N ₂ O	298	298
Emisión de CO ₂ e	3,125	2,562
Emisión total de Kg CO ₂ e	1,060,899	869,937
Estimación de GEI evitados por el consumo de Diesel B ⁵ Estacionario en términos de Kg CO ₂ e	190,962	18%

Referencias

- Button, J. W., Estakhri, C., & Wimsatt, A. (2007). A synthesis of warm mix asphalt (No. FHWA/TX-07/0-5597-1). Texas Transportation Institute, Texas A & M University System.
- MWV Asphalt Innovations (2012). Compendium of Stack Emissions and Fumes Test Results from Third Party Field Studies comparing Evotherm WMA and Conventional HMA. MWV Specialty Chemicals, USA.
- D'Angelo, J. A., Harm, E. E., Bartoszek, J. C., Baumgardner, G. L., Corrigan, M. R., Cowser, J. E., ... & Yeaton, B. A. (2008). Warm-mix asphalt: European practice (No. FHWA-PL-08-007).
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC (2006). "Directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero". Grupo Kanagawa, Japón.
- Hurley, G. C., & Prowell, B. D. (2006). Evaluation of Evotherm for use in warm mix asphalt. NCAT report, 2, 15-35.
- <http://www.mwv.com/en-us/asphalt-innovations/products/evotherm>
- Yildirim, Y. (2007). Polymer modified asphalt binders. Construction and Building Materials, 21(1), 66-72.

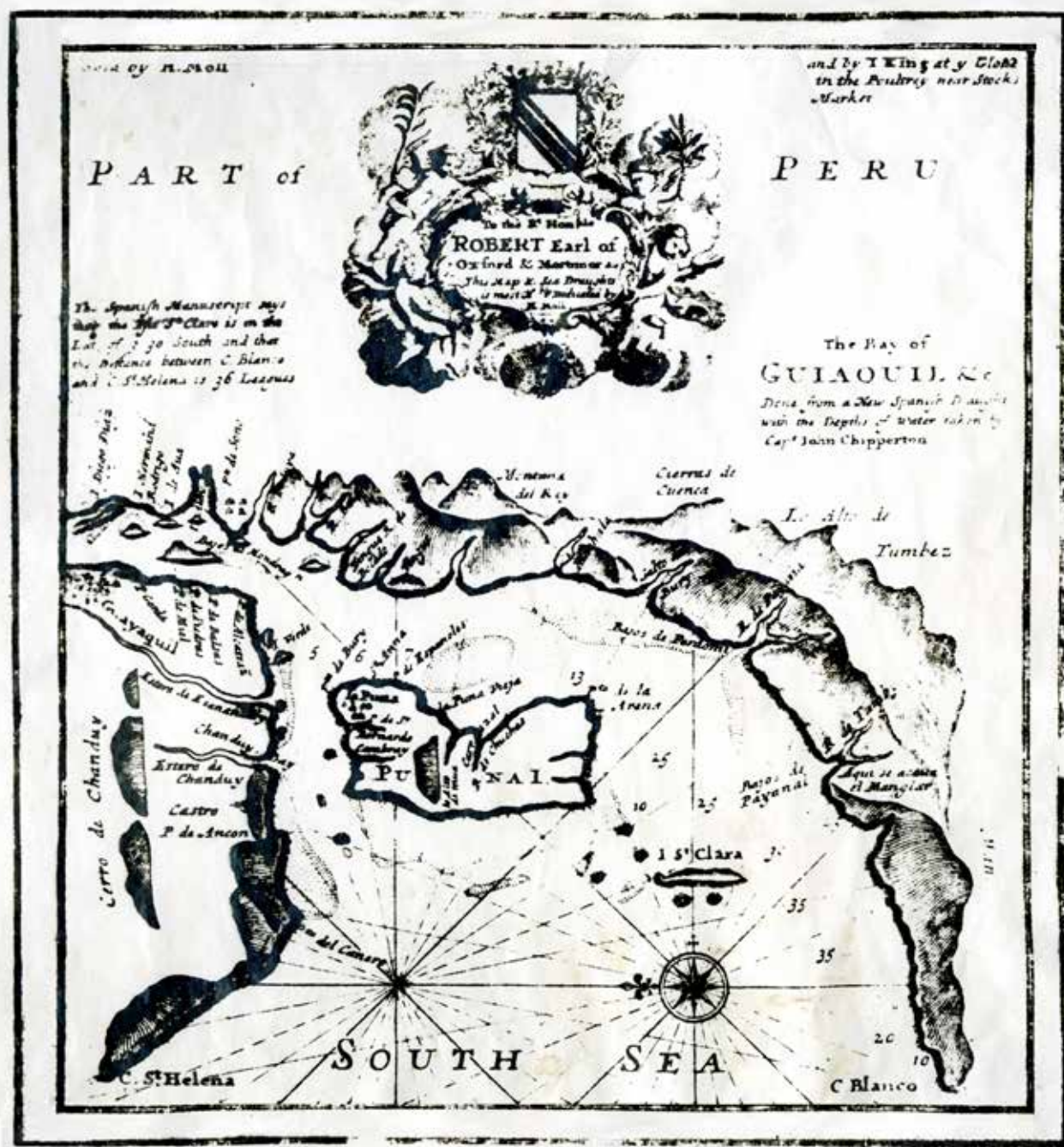
De los resultados se observa que el uso de mezclas asfálticas tibias permitirá evitar la emisión de 191 toneladas de CO₂e aproximadamente, al medio ambiente. Ello genera un impacto positivo en la Huella de Carbono del proyecto administrado por la Concesionaria Rutas de Lima. ●

(*) Responsable de Calidad y Gestión de Pavimentos, Concesionaria Rutas de Lima, jonathan.vera@rutasdelima.pe

(**) Gerente de Ingeniería, Concesionaria Rutas de Lima, aradice@odebrecht.com

Conclusiones

- Las mezclas asfálticas sostenibles presentan un mejor comportamiento mecánico, con mayores niveles de resistencia al daño por humedad, al ahuellamiento y a la fatiga por cargas de tráfico.
- Las mezclas asfálticas sostenibles reducen el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigando el impacto al medio ambiente.
- La implementación de las mezclas asfálticas tibias modificadas con polímeros permite obtener una producción más continua, debido a la compactación con menores temperaturas en caso de demoras por lluvias.
- La utilización de mezclas asfálticas sostenibles ofrece una alternativa logística interesante para proyectos ubicados a largas distancias.
- La tecnología de mezclas sostenibles puede ser utilizada en proyectos ubicados en zonas de altura (>3000 msnm), contrarrestando las gradientes térmicas del ambiente para su colocación y compactación, así como favoreciendo su durabilidad por las propiedades mecánicas favorables debido al uso de polímeros.



MAPA DE LA ÉPOCA DONDE SE PUEDE VER LA BAHÍA DE GUAYAQUIL QUE PERTENECÍA AL VIRREYNATO DEL PERÚ.

Las rutas del nuevo Perú

El Perú es un camino. Otros países pueden resumirse en un símbolo geográfico. Egipto es un valle, el Brasil una selva, la Argentina un pampa, Siberia una estepa, Inglaterra una Isla, Panamá un istmo cortado y Suiza un puñado de montañas consteladas de hoteles. El Perú es un camino: ninguna otra calificación geográfica la expresa tan exactamente” (Antonello Gerbi)

Los historiadores coinciden en que, durante el Virreinato, los caminos en el Perú perdieron la magnificencia que les habían dado los antiguos pobladores del Tahuantinsuyo, y fueron decayendo poco a poco, a pesar de que en cada tramo de las extensas vías los españoles iban desarrollando una nueva epopeya, grandiosa en muchos sentidos, pero con escasa visión integradora entre la geografía y sus habitantes.

En sus exploraciones, en la fundación de ciudades y en las producciones minerales, los súbditos del reino de España fueron trazando las rutas del nuevo mundo, a la vez que establecían sus vínculos sociales. La grandeza de las vías hechas por los Incas asombraron a los españoles en un inicio, pero ellos supieron luego aprovecharlos para sus fines y, con el paso del tiempo, abrir otros caminos que les eran útiles para la extracción del oro y la plata. Poco a poco se hicieron conscientes de que necesitaban, además de las rutas hacia las espléndidas minas, otras que eran importantes para aprovechar todo el potencial que les ofrecían las tierras conquistadas.

“...Los primeros europeos, que llegaban de países en donde los caminos eran pocos malos, se quedaron suspensos y pensativos. Ningún otro aspecto del Estado incaico, excepto quizás su prodigiosa riqueza de oro, los impresionó tan profundamente...” (Antonello Gerbi. *Los caminos del Perú*. Publicado con ocasión del V Congreso Panamericano de Carreteras, Lima, 1919, pág. 22)

Es un hecho indiscutible que los españoles, al llegar al Perú, utilizaron las vías hechas por los incas para movilizarse por todo el imperio y, de esta forma, vieron facilitados sus afanes de triunfo.

“Quizás fueron los magníficos caminos incaicos los que apresuraron su ruina (...) les permitieron a los primeros conquistadores desplazarse de un extremo al otro del país con sorprendente rapidez...” (A. Gerbi, op. cit. pág. 30)

Durante el Virreinato permaneció la red de caminos incaicos, a pesar de que gran parte de ella fue abandonada y se dejó a su suerte, y en algunos sitios se perdió hasta su huella (A. Gerbi, op. cit. págs. 30-31)

Al surgir nuevos centros de vida en el Perú, las personas se iban desplazando hacia ellos, especialmente hacia la costa y el sur, y dejaron de lado sus pueblos de origen.

Las vías terrestres antiguas perdieron importancia con el nuevo orden social, y cobró mayor importancia la navegación. Únicamente las grandes arterias, por donde transitaban las recuas de mulas y rebaños de auquénidos cargados de minerales y de utensilios para los centros mineros, fueron consideradas como trascendentales.

En los caminos troncales del imperio incaico, los tambos abandonados se derrumbaron, los tramos en las partes altas fueron destruidos por la intemperie y las sogas de los puentes colgantes se pudrieron y cayeron.

No obstante, los españoles usaban lo que quedaba de los caminos incaicos, uniéndoles con nuevos tramos abiertos por ellos, para transportar sus cargamentos, sobre todo en las rutas de las grandes minas.

Antonello Gerbi cita a Juan de Matienzo, ilustre oidor de la Audiencia de Charcas, para ilustrar el mal estado de estos caminos “principales” de Potosí al Cusco, y del Cusco a Lima, por donde cada año “se despeña mucha gente”. (Juan de Ma-

tienzo *Gobierno del Perú*. Ed. José Nicolás Matienzo, Buenos Aires, 1910).

“En el Perú del coloniaje, el verdadero camino real es la ruta de los galeones. No era de Quito al Cusco, sino del Callao a Panamá” (A. Gerbi, op. cit. pág. 31)

Gerbi sostiene que en el Perú no se construyeron nuevos caminos que emularan a los del imperio incaico, y los únicos que se conservaron transitables fueron los que iban de las minas a la costa, de Potosí y del Cusco a Huancavelica, y de las serranías argentíferas a las bodegas de las naves.

Sin embargo, la tecnología que traían de Europa los españoles se puso de manifiesto en las construcciones de los puentes de piedra, que reemplazaron en forma permanente a los puentes colgantes, estropeados por el paso del tiempo.

Los españoles se esforzaron por construir puentes de piedra, útiles para el paso de los pesados carruajes que introdujeron en el transporte.

Hicieron el de Lima, que primero fue de madera, y luego rehecho de piedra por el Virrey de Montesclaros (1607-1615). También construyeron los puentes sobre los ríos Cachimayo y Pilcomayo, en el camino hacia La Plata y Potosí; el de Arequipa, camino a Camaná y a Lima, y el de un solo arco de Angoyaco, en el camino de Jauja a Huancavelica.

La rueda y las migraciones

La llegada de la rueda y el caballo trajo una revolución en el transporte, aunque su utilización requería de nuevos tipos de vías. Fueron también muy usados las mulas y los bueyes, para arrastrar pesados carros. El historiador José de la Puente Brunke sostiene que la mula fue el animal máspreciado durante el Virreinato, pues se adaptó mejor a la difícil geografía; por ello era conocida como la “reina de los caminos”.

Con el nuevo orden social apareció el fenómeno de las migraciones, y se fundaron nuevos poblados al estilo español, sobre todo cerca de las minas y de los centros de comercio.

El itinerario seguido por el viajero de la época permite establecer claramente que durante el Virreinato se continuó usando los caminos de los años prehispánicos, pero con el objetivo máximo de comerciar y obtener riquezas.

Indudablemente que la ruta más importante en el Virreinato fue el que iba desde las minas del Potosí hacia el Occidente, instaurado así por la Metrópoli para impedir que la plata tomara la ruta del Atlántico, por el puerto que existía en Buenos Aires. Lima se convirtió en el centro de la red vial colonial. De ahí partían cuatro caminos que con el paso de los años se convertirían también en sus cuatro carreteras asfaltadas más importantes: la del Cusco (hoy Carretera Central), la de Arequipa y Tacna (Panamericana Sur), la de Piura (Panamericana Norte) y la de Cerro de Pasco y Huánuco (La Viuda).

“Los cuatro caminos confluyentes en Lima formaban un esquema alrededor del cual habría de desarrollarse la vida en el Perú, así como la vida del Tahuantinsuyo se había desenvuelto sobre las cuatro vías entrecruzadas en el Cusco”. (A. Gerbi, *pág. 48*) Sobre los caminos que se utilizaban en el Virreinato, una crónica anónima de la época da, con lujo de detalles, un itinerario seguido por su autor, desde su llegada a Guayaquil hasta Lima, y seguidamente hasta varias ciudades de la sierra central y sur, hasta llegar al Cusco (Descripción del Virreinato del Perú. Crónica inédita de comienzos del siglo XVII. Instituto de Investigaciones Históricas. Universidad Nacional del Litoral. Edición, prólogo y notas de Ladislao Lewin, Rosario, 1958). La mencionada crónica refiere que al Perú se llegaba desde Panamá, en barco, tocando el puerto de Marta, que estaba ubicado en lo que hoy es Ecuador. Desde allí se podía ir por tierra a Guayaquil. En este puerto existía además un camino que conducía a Quito (*Descripción del Virreinato del Perú, pág. 21*).

En toda la crónica se notan las cualidades descriptivas del autor anónimo, quien refiere los caminos que había en cada poblado. Al mencionar las ciudades, puertos y poblados de la costa, no deja de indicar que en casi todos había un camino que conducía a la sierra.

Desde Guayaquil se iba en barco hasta una isla llamada Punna, “lugar de cacique muy rico”. De este punto se iba a Tumbes, en donde había también un camino “por algunos pueblos indios” que llegaba a San Miguel de Piura.

Leyendo esta crónica se percibe que en aquel entonces, a lo largo de los caminos nativos, había muchos poblados, y que los nativos vivían en ellos dedicados a tra-

En la capital de Virreinato era casi una obligación ostentar el estatus social. A pesar de que Lima era aún una ciudad pequeña, hacia fines del siglo XVII, había un tráfico de calesas “tumultuoso y violento”.

bajar para sí, y para servir a los viajeros que asomaban por sus lugares. Además había un gran interés por el comercio. Con referencias precisas, el autor no deja de mencionar la situación material y económica de cada población.

Cuando habla de “un lugar de indios” se refiere a nativos pobres, cuyo pueblo estaba gobernado por un corregidor o un monasterio que lo tenía a su cargo.

Los caminos que existían en San Miguel de Piura llevaban uno a la sierra y el otro a los llanos. Este último conducía a Paita y a Olmos de los Arrieros, que “era el lugar de indios todos arrieros”, que tenían una gran habilidad para conducir a los viajeros a través de la tierra casi desértica. (*Descripción del Virreinato del Perú. Pág. 22*). Desde Olmos se podía ir a Lambayeque, Sayanca y Terinaje, “en donde hay uvas e higos”. De este último punto se iba a la villa de Sana (Saña). “Es una de villa rica de españoles, la mejor y más rica de los llanos. Está a cinco leguas del mar, llámase su puerto Cherepe, es puerto inquieto porque la costa rasa, y está desabrigado; y siempre se aguarda que esté el tiempo quieto para embarcar y desembarcar. Un camino de bosques de guarangos conducía del puerto de villa de Sana” (*Descripción..., pág. 24*).

El itinerario seguido por el viajero de la época permite establecer claramente que durante el Virreinato se continuó usando los caminos de los años prehispánicos, pero con el objetivo máximo de comerciar y obtener riquezas.

La vía de la costa

Desde el tiempo de la Colonia se fue esbozando la gran vía de la costa que con los años vendría a convertirse en la Carretera Panamericana.

Las embarcaciones que iban por el Pacífico y llegaban al puerto de Tumbes, o al de Paita, se encontraban con fuertes vientos del sur y con las corrientes marinas que detenían las embarcaciones. Desde allí los viajeros decidían transportarse por tierra, en lentas caravanas de bueyes y mulas, hasta Lima, cruzando valles y desiertos en un itinerario de 50 o 60 días. (A. Gerbi, *op. cit. pág. 35*).

Hacia la mitad del siglo XVIII se había encontrado una forma de reducir el viaje. Antonello Gerbi cita a Don Jorge Juan y Antonio de Ulloa, que en 1740 llegaron de Piura a Lima “en solo 27 días, viajando en una litera cubierta suspendida por dos largas cañas de Guayaquil amarradas a las albardas de dos robustas mulas, que iban una adelante y la otra atrás. Otro hombre, llamado peón de la litera, iba a bestia para dirigir la marcha y servir al viajero” (A. Gerbi, *op. cit. pág. 35*).

“La línea obligatoria de Buenos Aires a Lima fue quizás el mayor aporte del Virreinato a la red vial de sus dominios. Esta ruta, así como la violenta reacción del contrabando, sirvieron para crear, con los ramales de algunas de las más antiguas pistas prehistóricas del Continente, la primera gran arteria. Al pie de los Andes el camino empalmaba con los senderos de la pampa de Atacama, siguiendo las huellas más avanzadas de las expediciones militares incaicas y las más recientes del ejército de Almagro”. (A. Gerbi, *op. cit. pág. 36*).

Juan de Matienzo, en cita de A. Gerbi, recomendaba la vía del Plata como corredor principal de salida del Virreinato, desde 1566, y señalaba que ayudaría a los navíos españoles porque “es buena y gentil navegación (...) aunque a las de Lima y Quito les cayga algo lejos, evitan los peligros del Nombre de Dios y Panamá, y el viaje por dos mares tan peligrosos y enfermos como es notorio”, refiriéndose al paso por el istmo.

Las propuestas de Matienzo encontraron fuerte oposición en los funcionarios de la Audiencia de Charcas, que hacían lo posible para desacreditar los proyectos de aquel. Matienzo murió a los 20 años de haber sido nombrado Oidor, sin recibir ascensos ni respuesta a sus cartas dirigidas a las autoridades reales. Pocos años antes de su muerte, el 15 de agosto de 1579, el Gobernador de Paraguay, Don Juan de Garay, fundó en 1580 el puerto y la fortaleza de Buenos Aires.



FOTO DE UNA CALESA QUE ERA USADO EN LA ÉPOCA COLONIAL. AQUELLOS QUE LO POSEÍAN APARENTABAN POSICIÓN SOCIAL.

“Cuando fueron dominadas las feroces tribus de Tucumán, a fin del siglo XVI, fue posible implantar la única vía que corta transversalmente el Continente” (A. Gerbi, *op. cit. pág. 38*).

A lo largo del nuevo camino se fundaron ciudades importantes, como Salta, Tucumán y Córdoba, y la extensa área entre el Callao y Buenos Aires cobró una vida cada vez más intensa.

El espíritu de rebelión

El nuevo camino por el sur de América hizo surgir, de manera poderosa, el contrabando, fenómeno que fue creciendo aún más con la prohibición del tráfico directo con Buenos Aires, en 1954, luego de un transitorio permiso que se dio en 1587. “En vano se levantó una ‘Aduana Seca’ entre Tucumán y Buenos Aires, en 1622, que cobraba 50% de tarifa extraordinaria. Se calcula que en 1659 los metales peruanos ‘fugaban’ por Buenos Aires en una cantidad que bordeaba el millón de pesos anuales. Al mismo tiempo, los ingleses y holandeses introducían por ese puerto sedas, telas y paños que llegaban hasta las ferias de Puno, Ayacucho y hasta Lima”. (A. Gerbi, *op. cit. pág. 40*).

El comercio de Buenos Aires con Chile y el Perú se declaró libre en 1777, cuando hacía tiempo Panamá y Lima habían perdido sus privilegios.

Gerbi sostiene que durante dos siglos el contrabando enriqueció el puerto de Buenos Aires, extendiendo su bienestar a Paraguay. En carreteras se transporta-

ban alimentos y cueros desde las zonas bonaerenses.

Pero a mitad de camino, el Cusco seguía siendo el principal mercado de aprovisionamiento. Desde esta ciudad se cargaban grandes cantidades de alimentos hacia Potosí.

Surge el correo

A diferencia de los incas, que tenían a los chasquis para portar comunicaciones que eran privilegio de unos pocos, los españoles introdujeron en el Perú, los correos postales, con los años fue continuo y normal el paso de los mensajeros, que portaban cartas secretas e inviolables, porque estaban guardadas con sellos de cera.

“De prerrogativa real, la transmisión de noticias se convertía así en derecho del pueblo entero. Todos los peruanos estaban virtualmente unidos entre sí. Sobre los caminos mal tenidos y peligrosos, en valijas cubiertas de polvo y de fango, en gélidas postas expuestas a todas las intemperies, se colocaban así los primeros cimientos de la nueva Nación”. (A. Gerbi, *op. cit. pág. 46*).

Al igual que el comercio, el servicio del correo en las Indias se convirtió en su monopolio, desde que el 14 de mayo de 1514 la reina Juana concedió al jurista Lorenzo Galíndez de Carvajal, y para sus herederos, a perpetuidad, tal derecho.

El privilegio fue confirmado, por cédula real del 27 de octubre de 1525, por el rey Don Carlos. En el servicio de correos no se incluía a los mensajes enviados a familiares mediante criados. El monopolio del

correo fue suprimido recién en 1768 (A. Gerbi, *op. cit. pág. 46*).

En los primeros tiempos, el correo utilizó a los chasquis, los caminos incas y hasta sus tambos. En 1599 los mensajeros de a pie fueron reemplazados, en donde era posible, por caballerías. Por esos años y por orden del Rey, los chasquis fueron reemplazados por “Españoles que andan sin orden de vivir, y mestizos, mulatos y negros libres de que ay mucha cantidad de esas Provincias” (*Cédula Real del 22 de setiembre de 1593, y Capitulación del Virrey D. Luis de Velasco con D. Diego de Carvajal, Lima, 5 de abril, y Callao, 1 de mayo de 1599. En: Alcázar, Cayetano, Historia del correo en América, Madrid, 1930. Cit. por A. Gerbi, pág. 46*).

La ruta principal del correo era de Lima a la ciudad de La Plata y Potosí, ciudad de Arequipa, puerto de Arica y puerto de Paita.

Lima y sus carruajes

En la capital de Virreinato era casi una obligación ostentar el estatus social. A pesar de que Lima era aún una ciudad pequeña, hacia fines del siglo XVII, había un tráfico de calesas “tumultuoso y violento”. Algunos cronistas de la época hablan de 4,000 coches y calesas a fines del siglo XVII, mientras que otros aseguran que en 1740 había en Lima 5 o 6 mil coches. (A. Gerbi, *op. cit. pág. 49*).

La desaparición de los coches no sólo fue una señal de cambio en los tiempos, sino que también fue una clara muestra del paulatino empobrecimiento de los habitantes. ●

AMENIDADES

Términos informáticos

C	C	V	W	R	B	K	B	V	V	U	R	S	I	H	J	P	L	E	Ñ
Y	M	C	Q	A	F	N	E	E	X	W	V	Ñ	A	Y	X	S	Y	F	E
D	H	X	Y	E	T	N	W	P	J	Ñ	B	E	Y	O	H	N	C	Q	F
X	L	H	B	S	I	G	A	T	R	U	S	I	A	A	Q	K	M	Y	C
J	C	N	W	N	Q	T	R	S	O	D	U	R	I	E	P	F	Y	J	S
O	R	J	C	R	Ñ	X	A	P	X	R	O	C	P	W	H	P	A	D	N
C	X	Q	A	T	H	K	M	J	O	S	T	Ñ	N	I	J	O	P	Y	T
N	P	S	A	Q	Z	L	A	X	E	Z	R	P	S	B	D	F	Ñ	P	I
C	O	X	D	S	M	O	C	R	Z	A	E	R	H	A	D	M	E	H	Z
T	J	D	L	A	P	J	P	P	T	Y	U	O	L	B	G	I	W	L	C
A	G	J	E	N	D	M	M	T	A	E	P	C	K	H	Ñ	I	W	A	X
U	E	L	W	U	I	I	N	D	U	R	E	E	H	Z	W	W	H	R	X
U	Ñ	U	Ñ	M	M	C	N	L	R	T	L	S	Q	L	X	J	Q	T	H
W	W	S	U	A	M	E	Y	U	D	H	M	A	H	X	C	Y	R	N	V
W	X	C	J	K	A	E	D	H	K	O	M	N	A	E	C	K	E	H	
Q	M	A	L	Ñ	H	A	C	O	N	V	U	I	D	T	X	I	E	C	Ñ
R	D	N	D	H	H	F	O	I	M	L	S	E	P	G	E	L	J	A	E
E	G	N	L	H	F	Y	T	I	C	Z	E	N	J	B	W	S	Z	B	W
C	B	E	J	G	Ñ	O	I	B	P	S	O	T	A	D	E	D	S	U	B
M	A	R	A	I	R	O	M	E	M	H	Q	O	Q	C	V	V	I	A	I

Buscadores
camaraweb
central
impresora
memoriaram
modem
monitor
mouse
parlantets
procesamiento
puertousb
scanner
teclado
unidad

SUDOKU

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

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

Nota de redacción.- En el número anterior de la revista Vialidad y Transporte Latinoamericano, en el artículo "El dulce amargo del uso de gaviones en el Perú" que aparece en las páginas 60 a 66, las fotos ilustrativas que aparecen en él son de dominio público y fueron bajadas de internet y, por consiguiente, no son de responsabilidad del autor. Se hace la presente aclaración a solicitud del autor.

XVII CILA

CONGRESO Ibero Latinoamericano del Asfalto 2015

16 - 20 - NOVIEMBRE - HOTEL LLAO LLAO
BARILOCHE - PATAGONIA - ARGENTINA

DISERTANTES INTERNACIONALES

- ING. MICHAEL ANDERSON** (USA)
Director of Research and Laboratory Services
Asphalt Institute
- PROF. HUSSAÍN BAHÍA** (USA)
Director, UW Modified Asphalt Research Center
University of WisconsinMadison
- DR. JORGE PROZZI** (USA)
Director, International Center for Partnered Pavement Preservation
Professor, The University of Texas at Austin
- ING. MICHAEL M. COTE** (USA)
National Asphalt Pavement Association (NAPA)
- ING. ALBERTO BARDESI** (ESP)
Director Asfaltos Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.
- DR. FÉLIX PEREZ JIMENEZ** (ESP)
Catedrático de Caminos
Universidad Politécnica de Cataluña (U.P.C.)
- LUÍS PICADO SANTOS** (POR)
Professor Catedrático de Transportes e Vias de Comunicação
Universidade de Lisboa

PONENCIAS

- ALEMANIA**: 1 resumen
- BOLIVIA**: 4 resúmenes
- COLOMBIA**: 22 resúmenes
- ECUADOR**: 1 resumen
- MÉXICO**: 24 resúmenes
- PERÚ**: 8 resúmenes
- VENEZUELA**: 4 resúmenes
- ARGENTINA**: 50 resúmenes
- BRASIL**: 69 resúmenes
- COSTA RICA**: 22 resúmenes
- ESPAÑA**: 22 resúmenes
- NICARAGUA**: 2 resúmenes
- PORTUGAL**: 15 resúmenes
- USA**: 11 resúmenes
- AUSTRALIA**: 1 resumen
- CHILE**: 19 resúmenes
- CUBA**: 3 resúmenes
- GUATEMALA**: 4 resúmenes
- PARAGUAY**: 5 resúmenes
- URUGUAY**: 13 resúmenes

ORGANIZADORES



CONVOCA



ORGANIZACIÓN GENERAL



INFORMES & RESERVAS
Tel/Fax: (+54-11) 5263-3-MET (638)

Av. Cabildo 642 - piso 11 Buenos Aires / Argentina
info@cila2015.com.ar www.metgroup.com.ar

Comisión Permanente del Asfalto
Tel/Fax: (54 11) 4331 4921 | Balcarce 226 - 6° Of. 16
CABA | Argentina | asfalto@cpasfalto.org | www.cpasfalto.com.ar



ASFALTOS PARA CADA TIPO DE CAMINO

PETROPERÚ abastece al mercado nacional e internacional con sus asfaltos, los cuales se emplean en la construcción de pavimentos en diferentes zonas geográficas, donde éstos son sometidos a condiciones extremas de performance.

Para PETROPERÚ la calidad de sus asfaltos y la satisfacción de nuestros clientes son muy importantes, por tal motivo somos una empresa que aplica un estricto control de calidad en su producción, obteniendo diferentes tipos de asfaltos con especificaciones técnicas que guardan concordancia con los más altos estándares de calidad.

