

RUTAS TÉCNICA

Influencia de la señalización y el balizamiento en la siniestralidad en curvas de carreteras convencionales

Análisis de la accidentalidad en tramos de obras en las carreteras españolas durante el periodo 2000 a 2012

ACTIVIDADES DEL SECTOR

XII Congreso Internacional de Caminería Hispánica

Entrevista a

D.ª Margarita Torres Rodríguez

Directora general de Carreteras

Consejería de Fomento

Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha



ditecpesa
productos asfálticos

Desde el año 1988, **Ditecpesa** es una empresa dedicada al desarrollo, fabricación y comercialización de productos asfálticos: betunes asfálticos, betunes asfálticos modificados con polímeros y emulsiones.

En la actualidad comercializa sus productos en España, Reino Unido y Portugal adaptándose en cada proyecto y mercado a las necesidades del cliente y siempre aportando diferentes soluciones a cada situación, como son la asistencia técnica del mejor producto en cada aplicación o incorporar alternativas sostenibles conscientes del cambio climático.

Un claro ejemplo de esto último ha sido la solución medioambiental aplicada en la **carretera M503** de Madrid, en la cual se ha suministrado un betún caucho fabricado con polvo de neumático.



Ditecpesa

Oficina Comercial, Administrativa y Laboratorio
C/ Charles Darwin 4, 28806 Alcalá de Henares (Madrid)
Tel.: (+34) 918 796 930
www.ditecpesa.com

ditecpesa

Una empresa Ferrovial

Tribuna Abierta

- 03** Nuevas redes para más inversión
Manuel Romana García

Entrevista

- 05** D.^a Margarita Torres Rodríguez
Directora general de Carreteras
Consejería de Fomento, Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha

Rutas Técnica

- 10** Influencia de la señalización y el balizamiento en la siniestralidad en curvas de carreteras convencionales
Effect of signs and traffic guidance equipment on road crashes occurrence on curves of two-lane rural roads
Ana María Pérez-Zuriaga, Francisco Javier Camacho-Torregrosa, Alfredo García y Vidal Gascón Culebras

- 18** Análisis de la accidentalidad en tramos de obras en las carreteras españolas durante el periodo 2000 a 2012
Analysis of accidents in sections of works on Spanish roads over the period 2000-2012
Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de Carreteras

Rutas Divulgación

- 26** Betún mejorado con caucho de NFU para mezclas de alto módulo
- 32** Manta anti-fisuras. Desarrollo de un sistema anti-reflexión de fisuras para firmes de carretera a partir de capas deconstruidas de neumáticos usados
- 44** Experiencias en la implementación del primer tramo de carretera en México con pavimento asfáltico de larga duración

Nota de Lectura

- 54** Borrador de la Norma 3.1-IC Trazado de la Instrucción de Carreteras

Actividades del Sector

- 56** XII Congreso Internacional de Caminería Hispánica

Notas de Prensa

- 59** ASEFMA revela la incidencia real del estado del pavimento sobre la vida de los ciudadanos, economía y medio ambiente

ATC

- 60** VI Simposio de túneles
- 62** Proximas Jornadas ATC
- 64** Monográfico 2014
- 65** Nombramientos
- 66** Composición de la Junta Directiva de la Asociación Técnica de Carreteras
- 67** Comités Técnicos de la Asociación Técnica de Carreteras
- 68** Socios de la Asociación Técnica de Carreteras



05



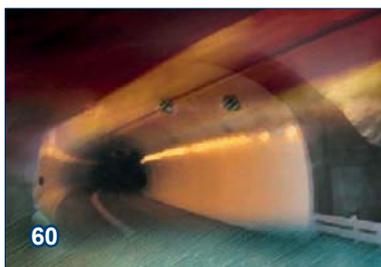
18



54



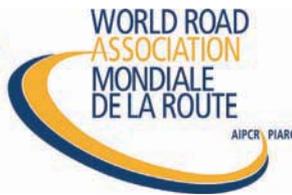
56



60



Asociación Técnica de Carreteras
Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera



La Revista RUTAS se encuentra incluida en la siguiente lista de bases de datos científicas:

UNIVERSIDAD DE GRANADA
DIALNET · ICYT · ULRICH'S
LATINDEX (Catálogo y Directorio)



Edita:

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS
Monte Esquinza, 24 4º Dcha. ♦ 28010 ♦ Madrid
Tel.: 913 082 318 ♦ Fax: 913 082 319
info@atc-piarc.com - www.atc-piarc.com

Comité Editorial:

Presidente:

Roberto Alberola García Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras

Vicepresidente:

José María Izard Galindo Director General de la Asociación Técnica de Carreteras

Vocales:

José Alba García	Presidente de Urbaconsult (España)
Ana Isabel Blanco Bergareche	Subdirectora Adjunta de Circulación, DGT, M. Interior (España)
Alfredo García García	Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia (España)
Oscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez	Director del Laboratorio de Infraestructuras Viarias del CEDEX, M. Fomento (España)
Jaime Huerta Gómez de Merodio	Secretario del Foro de Nuevas Tecnologías en el Transporte, ITS (España)
Carlos Oteo Mazo	Catedrático de Ingeniería del Terreno de la Universidad de La Coruña (España)
Hernán Otoniel Fernández Ordóñez	Presidente HOF Consultores (Colombia)
Felix Perez Jimenez	Catedrático de Caminos de la Universidad Politécnica de Barcelona
Clemente Poon Hung	Director General de Servicios Técnicos. Subsecretaría de Infraestructura (México)
Sandro Rocci	Profesor Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid (España)
Manuel Romana García	Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid (España)
Julio José Vaquero García	Jefe del Servicio de Auscultación de Firmes y Pavimentos de la DGC, M. Fomento (España)

Comité de Revisores Técnico-Científicos. Presidentes de Comités Técnicos de la ATC:

Rafael López Guarga	Túneles de Carreteras
Vicente Vilanova Martínez-Falero	Conservación y Gestión
Luis Azcue Rodríguez	Vialidad Invernal
Gerardo Gavilanes Ginerés	Financiación
Álvaro Navareño Rojo	Puentes de Carreteras
Roberto Llamas Rubio	Seguridad Vial
Antonio Sánchez Trujillano	Carreteras y Medio Ambiente
Andrés Costa Hernández	Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico

Redacción y Maquetación:

Mª José Sánchez Gómez de Orgaz
Víctor Domingo Encinas

Redacción, Diseño, Producción, Gestión Publicitaria y Distribución:

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS
rutas@atc-piarc.com

Publicidad:

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS
Tel.: 913 082 318 ♦ comites@atc-piarc.com

Arte Final e Impresión:

Diseño Gráfico A2colores
Tel.: 914 308 228 ♦ info@a2colores.es
c/ Avenida de la Albufera, 6 - 28038 Madrid

Fotografía de portada: D.ª Margarita Torres Rodríguez.

Depósito Legal: M-7028-1986 - ISSN: 1130-7102
Todos los derechos reservados.

La Revista Rutas publica trabajos originales de investigación, así como trabajos de síntesis, sobre cualquier campo relacionado con las infraestructuras lineales. Todos los trabajos son revisados de forma crítica al menos por dos especialistas y por el Comité de Redacción, los cuales decidirán sobre su publicación. **Solamente serán considerados los artículos que no hayan sido, total o parcialmente, publicados en otras revistas, españolas o extranjeras.** Las opiniones vertidas en las páginas de esta revista no coinciden necesariamente con las de la Asociación ni con las del Comité de Redacción de la revista.

Precio en España: 18 euros +IVA

© Asociación Técnica de Carreteras

REVISTA RUTAS

La Revista Rutas desde 1986, año de su creación, es la revista editada por la Asociación Técnica de Carreteras, Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera.

Las principales misiones de la Asociación, reflejadas en sus Estatutos son:

- Constituir un foro neutral, objetivo e independiente, en el que las administraciones de carreteras de los distintos ámbitos territoriales (el Estado, las comunidades autónomas, las provincias y los municipios), los organismos y entidades públicas y privadas, las empresas y los técnicos interesados a título individual en las carreteras en España, puedan discutir libremente todos los problemas técnicos, económicos y sociales relacionados con las carreteras y la circulación viaria, intercambiar información técnica y coordinar actuaciones, proponer normativas, etc.
- La promoción, estudio y patrocinio de aquellas iniciativas que conduzcan a la mejora de las carreteras y de la circulación viaria, así como a la mejora y extensión de las técnicas relacionadas con el planteamiento, proyecto, construcción, explotación, conservación y rehabilitación de las carreteras y vías de circulación.



Nº 160 JULIO - SEPTIEMBRE 2014

RUTAS
REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Enlace de descarga del Código de Conducta de la Revista Rutas:
www.atc-piarc.com/codigoconducta.pdf

Nuevas redes para más inversión

Tribuna
abierta



Manuel Romana García
Doctor ingeniero de caminos

Empecemos por una obviedad sobradamente conocida. Las redes de carretera y ferrocarril en España están razonablemente terminadas para la sociedad que tenemos en este momento. Podemos debatir cuando y donde se me emplace, pero está demostrado. Por tanto, las perspectivas de la construcción son muy diferentes de lo que fueron. Sin duda, queda algún eje por construir, y algún otro por completar, para aumentar la capacidad de los sistemas ya conocidos y mallarlos mejor, pero no lo suficiente para mantener una industria nacional. Cuando la demanda aumente, veremos, y desde luego tendremos que responder con planificación y presteza, adelantándonos a la congestión. Por otro lado, la actividad internacional es estupenda y necesaria. Las empresas que aprendieron cómo financiar, construir y conservar infraestructuras en el siglo XXI durante los primeros años del siglo gracias a la fuerte inversión en la modernización y mallado de la red de alta capacidad y velocidad razonable pueden, tienen que y deben continuar en este negocio, que conocen bien, en otros territorios. Lo están haciendo con gran éxito, como se puede comprobar simplemente leyendo los periódicos.

¿Cuál debe ser el foco de los ingenieros de transportes en la España actual? En mi opinión, triple: las dos primeras actividades son la conservación y gestión de las redes actuales de España, y la tercera es la construcción y posterior conservación de infraestructuras en el extranjero. El escenario que contemplábamos desde los años 90 del siglo pasado y los primeros años de este siglo parecía evidente, lo que no era previsible era la adicional erosión –incluso castigo– que el sector sufriría por la crisis. Ahora el acento habría que ponerlo, además de la búsqueda de nuevos mercados en el ámbito internacional, en la localización de nuevas redes y nuevos usos de la red actual.

La tecnología actual de transportes está en un momento clave, tras décadas de desarrollo de un mercado maduro de vehículos e infraestructuras desde hace unos 30-40 años. Por un lado, los medios están relativamente estancados. Pero, por otro, se esperan varios cambios. Y pueden ser clave. Cuando aparezcan algunos de estos cambios, o incluso todos, serán necesarias nuevas infraestructuras, o una reforma a fondo de las existentes. Es clave estar lo más próximo que se pueda a la vanguardia de este cambio, más todavía que en el pasado. ¿Por qué? Porque el cambio estará asociado a la tecnología, y no podrá protegerse el mercado interior con las prácticas anteriormente desplegadas. Los próximos cambios tecnológicos determinarán qué empresas podrán hacerse cargo de las obras.

Ya ocurre en la señalización de los ferrocarriles de alta velocidad. Hay dos, a lo sumo tres sistemas, y, por suerte, la construcción de las líneas pesa tanto que es posible asumir la señalización dentro del contrato. ¿Podría ocurrir lo contrario? Por supuesto. Hay dos posibilidades claras. La primera, que el coste de la tecnología sea muy superior al de la infraestructura. En este caso, la empresa tecnológica asumirá la gestión y financiación, buscando colaboradores para el resto. Ya sucede en algunos casos de instalaciones. La segunda es que, aunque el coste de la tecnología sea menor que el resto, haya un panorama de pocas empresas con capacidad tecnológica y muchas con capacidad de ejecución. Esto es cierto hoy en el campo de los móviles y las tabletas. Las empresas que fabrican lo hacen a las órdenes y bajo el estricto control de los que diseñan y crean. Son estas marcas las que hacen de verdad dinero y son conocidas, las que ejecutan son meros subcontratistas.

Las globalizaciones de las comunicaciones y del desarrollo hacen que en un futuro cercano vayan a existir un gran número de empresas que dominen la construcción de infraestructuras complejas, tales como los túneles modernos, los muelles o las obras subterráneas urbanas. Aún habrá más que construyan edificios, carreteras, canales y presas. Además, donde se han construido autopistas o ferrocarriles de alta velocidad ya existe una cadena de subcontratas, a veces mal controlada y demasiado larga, posibilitada por esa misma globalización y desarrollo. Hay que seguir por delante.

Hay un primer camino en la mejora de los procesos actuales. Con la extensión de la tecnología, el relativo abaratamiento de la energía con respecto a la mano de obra (que veremos si se mantiene, aunque parece que sí), y la robotización, será posible integrar nuevos materiales y maquinaria mejorada en los procesos de implantación de obras públicas lineales. En este camino se toman como fijos los vehículos y las infraestructuras, y se mejora su producción.

Un paralelismo no completo se ve en la agricultura. La tecnología nueva posibilita cambios totales, como el de Almería o el sureste español en general. Con respecto de los siglos XIX y XX, se gana renta y se equipara el territorio con regiones en los que la abundancia de agua no es acompañada por sol y buenas temperaturas. Para las hortalizas antes el agua era la clave, ahora lo es el sol. Además se han desarrollado una gran variedad de tipos de la misma planta. Hay tomates grandes, pequeños, de varios colores, de diferentes sabores. Cada uno con su precio y correspondientes variaciones generales y locales.



Tribuna abierta

Manuel Romana García
Doctor ingeniero de caminos

El equivalente es el mapa de precios de los billetes de avión, tren o autobús. Es un mundo cambiante con reglas que se reescriben, algunas basadas en el mercado, pero casi todas causadas por cambios tecnológicos. Cómo y cuándo se compran los billetes. Otro equivalente es la aparición, aún incipiente, del alquiler de coche por horas en entornos urbanos, de forma directa o a través de servicios prestados. Habrá más, y, cómo parece con Uber, serán revoluciones locales. Se puede pensar en más cambios en los vehículos, en la gestión y en los costes de producción. Los cambios de mayor calado son, claro, impredecibles. ¿Costarán más o menos renta disponible? Ah... ¿Alguien podía predecir cuánta renta quedaría atrapada en la telefonía móvil, antes de la aparición de los *smartphones*? Lo que muchos dan por imposible en el campo de los vehículos automáticos ocurrirá. La primera ley de Clarke lo avala: "Cuando un anciano y distinguido científico afirma que algo es posible, es casi seguro que está en lo correcto. Cuando afirma que algo es imposible, muy probablemente está equivocado". Vehículos autónomos relativamente baratos revolucionarán el transporte interurbano de mercancías y viajeros, cuando se pueda llegar a un aparcamiento, y salir para Málaga cuando cuatro personas se junten. El concepto de horarios se desvanecerá, seguro, para distancias de menos de 300 km.

El segundo camino es más interesante, pero más arriesgado. Se trata de desarrollar mejoras que impliquen la construcción de nuevas redes. Los próximos cambios fundamentales en carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos serán tecnológicos, y presumiblemente serán dirigidos por empresas relativamente pequeñas y un mar muy cambiante, hasta ver si se alcanza otro estado de mercado maduro. En informática y comunicaciones hay ya avances que a poco que cristalicen ahorrarán movilidad. Se podrá viajar menos para compartir experiencias y reuniones, y hasta para ver paisajes. Harán falta redes de comunicaciones, relativamente simples y baratas.

¿Qué otras infraestructuras de transporte pueden hacer falta? Primero, de suministro de materias primas a granel, que deben abarataarse y continuar su implantación. Harán falta más redes de suministro y distribución de gas, petróleo, agua, energía eléctrica. Y, para que sean necesarias nuevas infraestructuras, hace falta que aumenté la velocidad de viaje, de forma cómoda y segura, pero también barata en energía y vehículos, para una demanda atomizada. El *Hyperloop* de Elon Musk (una propuesta inicial futurista de levitación magnética inercial para transporte de viajeros, y que debe demostrar aún su factibilidad y viabilidad) es una primera intuición

en este sentido. Aumentar la velocidad exige aumentar la suavidad de la geometría, por cuestiones como la inercia y la aceleración transversal. Y esto aunque haya mecanismos de atenuación de estas aceleraciones.

La pregunta es entonces ¿cómo podemos conseguir elevar la velocidad media de viaje de vehículos pequeños hasta los 200 km/h? Esta es la pregunta ¿qué separaciones de vehículos harán falta? Deben ser bajas, para que la capacidad no se resienta ¿Qué equipamientos de seguridad? Activa y pasiva, pero manteniendo la comodidad de viajeros que harán otras cosas mientras se desplazan, formarse, leer, trabajar, ver grabaciones,... Por tanto, los vehículos deben crecer de tamaño, para dar más metros cuadrados por viajero. Se puede pensar en plazas para dormir/descansar, plazas para trabajar y vehículos más caros en los que se podrá hacer de todo (equivalentes a la clase *business* de los aviones de hoy).

Las redes y terminales se desarrollan cuando son necesarias porque hay vehículos que permiten un desplazamiento de una cierta manera y demanda suficiente para que sea generalizado y rentable el uso de esos vehículos. Eso paso con los trenes, con los coches, con los autobuses. No hubo estaciones de autobuses hasta que se generalizó el uso de autobuses para muchos destinos con frecuencias altas y medias. Un aeropuerto cualquiera hoy es mucho más complejo que en 1960. A todos los usos del transporte se ha unido el acceso a tiendas y servicios.

Por tanto, los esfuerzos que verdaderamente cambiarán el mundo son los orientados a nuevos vehículos. Energía, tracción, mecanismos de atenuación de aceleraciones transversales, reducción de peso, sistemas de contención internos en caso de accidente. Las infraestructuras para ello tendrán que poder admitir velocidades mucho mayores, porque la seguridad está directamente asociada a la proporción de la velocidad máxima a la que se viaja.

Para conseguir avanzar es preciso reunir esfuerzo personal, apoyo institucional y, claro, acceso a fondos públicos y privados. Y debate, constructivo pero notorio. Haciendo más ruido seremos más visibles. Los fondos deben estar condicionados a avances mensurables, a claridad, transparencia y eficacia. Y a resultados que puedan verse, además de a listas de dudas adicionales que habrá que resolver. Y los fondos privados vendrán si hay avances pequeños pero ciertos. Si damos resultados, será inexcusable que las administraciones aporten fondos e interés.



D.ª Margarita Torres Rodríguez

Directora General de Carreteras

Consejería de Fomento

Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha

La Redacción

Ingeniera de caminos, canales y puertos por la Universidad Politécnica de Madrid, en la especialidad de transportes, Margarita Torres Rodríguez ha desarrollado gran parte de su carrera profesional en la Dirección General de Carreteras de la Consejería de Transportes de la Comunidad de Madrid, donde ha sido desde 1989 jefa de sección de Normativa y Diseño, jefa de sección de Supervisión de Proyectos, jefa de Área de Planificación y subdirectora general de Construcción y Conservación.

En julio de 2011, Margarita Torres pasó a ser directora general de Carreteras de la Consejería de Fomento de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, cargo que desempeña en la actualidad.

A lo largo de estos años de carrera profesional, ha participado en congresos, jornadas técnicas y seminarios, en los que también ha presentado conferencias, como por ejemplo *Evolución del tráfico en las carreteras de acceso a Madrid* (Líneas Isotráfico), presentada en la XVIII Semana de la Carretera, en Sevilla en 1991, que también fue publi-

cada. Asimismo, dentro de su trayectoria profesional destaca su participación como docente en el Máster de Movilidad Urbana de la Universidad Rey Juan Carlos durante los años 2008 y 2009; y entre sus principales trabajos realizados se encuentra el Plan de Carreteras de la Comunidad de Madrid (1994 – 2001).

Entre las distinciones recibidas, se pueden citar la Medalla al Mérito Profesional del Colegio de Ingenieros de Caminos en el año 2011 y el pasado 12 de junio de 2014, la Medalla de la Carretera de la Asociación Española de la Carretera.

¿Qué destacaría de su labor al frente de la Dirección General de Carreteras de la Consejería de Fomento de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha? ¿Qué significó para usted este nombramiento?

Es una gran satisfacción para mí estar al frente de esta Dirección General. La verdad es que este nombramiento significó para mí un reto y, al mismo tiempo, una oportunidad, por lo que estoy muy agradecida a la consejera de Fomento del Gobierno de Castilla-La Mancha, Marta García de la Calzada, y a la presidenta M^a Dolores de Cospedal. Había desarrollado mi actividad en carreteras, por lo que era una oportunidad aplicar todos los conocimientos adquiridos en esta región, a la vez que era un reto hacerlo desde la Dirección General.

Desde luego, el balance de estos tres años es muy positivo. Lo que sí me gustaría destacar es el apoyo de los grandes profesionales que me he encontrado sin cuya labor de colaboración, profesionalidad y buen hacer no funcionaría esta organización.

¿Cómo se organiza esta Dirección General de Carreteras? Y, ¿cuáles son sus principales competencias?

La Dirección General realiza sus funciones a través de los servicios centrales que se ubican en Toledo y mediante los servicios periféricos situados en cada una de las cinco provincias que constituyen esta comunidad autónoma. En las oficinas centrales, la estructura la conforman cuatro servicios: los de Planificación, Proyectos, Construcción y Conservación.

Nuestra principal actividad es atender 8.700 kilómetros, de los cuales 235 corresponden a autovías. El trabajo se organiza de manera coordinada con los servicios provinciales. Desde los servicios centrales se hace la planificación regional, actuaciones encaminadas a la mejora de la normativa, como es la redacción del Reglamento de Carreteras,

la gestión de la conservación, la tramitación de los expedientes de obras o la gestión de concesiones- como es el caso de la Autovía de los Viñedos-, la planificación de los recursos anuales o la preparación del presupuesto entre otras.

Desde las provincias se materializan las acciones que se planifican desde los servicios centrales, es decir, se dirigen los proyectos, se ejecutan las obras y se realiza la conservación, una labor que quiero recalcar que llevamos a cabo por medios propios, con una plantilla de más de 400 trabajadores, apoyados por empresas de conservación en cada una de las provincias.

“El principal objetivo es la mejora de la seguridad vial, por lo que todas nuestras actuaciones están dirigidas a culminarlo”

¿Cómo interactúa la Dirección General de Carreteras con el resto de organismos que constituyen la Consejería de Fomento, como la Viceconsejería de Fomento, la Secretaría General de Fomento o La Dirección General de la Vivienda, Urbanismo y Planificación Territorial?

La Consejería de Fomento se constituyó en el año 2011, como fusión de dos Consejerías, con el ánimo de reducir cargos públicos y mejorar la eficiencia en la gestión. La Consejería está constituida por 6 direcciones generales, siendo la Dirección General de Transportes competencia de la Viceconsejería y la Secretaria General. El resto de direcciones generales son la

de Vivienda, Urbanismo y Planificación Territorial; la de Industria, Energía y Minas; la de Telecomunicaciones y Nuevas Tecnologías y, por último, la Agencia del Agua de Castilla-La Mancha. Inicialmente, también dependían de la Consejería varias empresas públicas.

En este sentido, una de las medidas que tomó el Gobierno de Castilla-La Mancha en el año 2012, que me gustaría resaltar, fue la reestructuración del sector público, absorbiendo la propia empresa Gestión de Infraestructuras de Castilla-La Mancha, denominada GICAMAN, tres entidades existentes: la Sociedad de Carreteras, la Empresa Regional del Suelo (ERES) y la Agencia de Energía de Castilla-La Mancha (AGECAM), todas pertenecientes a esta Consejería.

Los distintos departamentos de la Consejería participan en los Comités de Dirección y, naturalmente, la relación horizontal con otras direcciones es inmediata en los asuntos que puedan ser comunes. Por otra parte, también tenemos relación con otras direcciones generales de otras consejerías, en particular con la Dirección General de Protección Civil dentro de PLATECAM y, en concreto, con el METEOCAM para las actuaciones de vialidad invernal, con la Dirección General de Montes, a través del INFOCAM, y para todo aquello vinculado a los proyectos y obras que ejecutamos, con la Dirección General de Evaluación Ambiental.

En los casos en los que las actuaciones que lleve a cabo esta Consejería de Fomento tengan lugar en carreteras limítrofes con otras comunidades autónomas, ¿cómo se desarrolla esta relación?

En este punto quiero destacar la coordinación con la Comunidad de Madrid, porque tenemos un convenio para la conservación de las carreteras limítrofes que atraviesan territorio de ambas comunidades. Además de esto, se mantiene la coordinación a nivel técnico desde los servicios de las provincias limítrofes.

Y en los próximos años, ¿qué queda por hacer? De hecho, ¿se está llevando a cabo actualmente alguna actuación en la red de carreteras de Castilla-La Mancha que quiera destacar?

En estos momentos, está en redacción y tramitación el III Plan de Carreteras de Castilla-La Mancha, por lo que estamos realizando un importante esfuerzo de planificación encaminado a potenciar el progreso socio-económico de la región, a través de una red que posibilite un transporte más eficiente.

Este Plan recogerá las actuaciones a realizar en los próximos años que vienen definidas por unos claros objetivos: dar cohesión y vertebrar el territorio, potenciar la movilidad entre núcleos comarcales de importante población, mejorar la accesibilidad a las zonas periféricas de difícil orografía, alcanzar un adecuado nivel de conservación de la red de carreteras, garantizar una mayor seguridad vial y lograr una gestión más eficiente que redunde en un mejor servicio al ciudadano.

Los años que lleva desarrollando su gestión se caracterizan por una coyuntura económica precaria en materia de carreteras, ¿cómo ha afectado este hecho a la Dirección General de Carreteras de Castilla – La Mancha?

Efectivamente, en los tres años que llevo al frente de esta Dirección General la situación ha cambiado significativamente. Cuando llegué me encontré una gran deuda, con un importante volumen de impagados. Con estas circunstancias, el primer año representó un gran reto en el que se necesitó, en primera instancia, hacer un análisis de la situación económica de la Dirección General y de la Sociedad de Carreteras. En esta última, cuando llegamos en verano del 2011, se alcanzaba una deuda directa a las empresas constructoras de más de 200 millones de euros en certificaciones sin abonar y no había crédito para poder hacerle frente. Fue



D.ª Margarita Torres Rodríguez con la consejera de Fomento saludando a un trabajador en las obras de una glorieta en el Cubillo de Uceda (Guadalajara).

gracias al sistema de pago a proveedores como se pudo solucionar este primer escollo, de forma que la Junta de Castilla-La Mancha se hacía cargo de esa deuda.

Desde la Sociedad de Carreteras se habían seguido adjudicando obras, como es el caso de tres tramos de autovías por un importe total de unos 200 millones de euros. Dado que los tráficos eran muy bajos, se procedió a realizar un estudio de rentabilidad de cada uno de ellos, cuyo resultado final fue que no eran rentables y se procedió a su rescisión.

Una vez resueltos los problemas económicos de la Sociedad, ésta se fusionó con GICAMAN. Desde entonces, se tomó la decisión de que las nuevas contrataciones se realizaran directamente desde la Consejería, a través del presupuesto de la Dirección General de Carreteras. Así, se realizó una revisión de los proyectos y actuaciones previstas a efectos de buscar soluciones optimizadas desde el punto de vista técnico y económico, lo que llevó a realizar nuevos proyectos en base a los existentes.

El siguiente paso fue planificar actuaciones dentro del marco presupuestario existente, por lo que se optó por realizar actuaciones de bajo coste para poder actuar en más kilómetros de la red y poder beneficiar al mayor número de ciudadanos. Al mismo tiempo, al realizar más licitaciones, también llegamos

a un mayor número de empresas que podían ser adjudicatarias y repartimos el presupuesto de una forma más homogénea. Así, llevamos a cabo actuaciones de mejoras de firme, mediante refuerzos y lechadas, mejoras de travesías y de intersecciones, así como actuaciones para optimizar la señalización, tanto horizontal como vertical de la red vial.

El siguiente paso adelante ha sido proyectar actuaciones de más envergadura, acondicionamiento y mejoras, además de refuerzos. En esta línea, resaltar que este año vamos a ejecutar 34 obras ya licitadas en toda la región. Y, para el año próximo, un paso más: está prevista la duplicación de calzada de la CM-3203 denominada Los Llanos del que ya tenemos el proyecto de construcción y hemos iniciado su licitación, un proyecto que mejorará el acceso por el sur a Albacete.

¿Que avances se han hecho en la Dirección General de Carreteras de Castilla-La Mancha en los años que lleva al frente de la misma?

Además de todo lo indicado anteriormente, se realizan labores de planificación regional, como es la redacción del III Plan de Carreteras o actuaciones encaminadas a la mejora de la normativa como es la realización del Reglamento de Carreteras que ya hemos redactado, sometido a información

pública y que está en las últimas fases de su tramitación.

En cuanto a la gestión de la conservación, hemos realizado un Plan de Recursos Humanos para garantizar una gestión más eficiente y racional, y hemos optimizado la gestión de los expedientes de obras, redistribuyendo competencias entre servicios centrales y periféricos. Sobre todo quiero hacer hincapié en el esfuerzo realizado en la conservación de las carreteras buscando la máxima eficiencia para aprovechar los recursos económicos disponibles.

En cuanto a la gestión de concesiones, en estos momentos estamos diseñando una aplicación *App* para descargar en el móvil y así facilitar servicios e información a los usuarios, para la Autovía de los Viñedos.

Desde su experiencia profesional ¿qué cree que caracteriza a la red de carreteras de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha que la diferencia de las redes de otras comunidades autónomas?

Por mi experiencia en la Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid, la mayor diferencia que observo es la baja intensidad de tráfico de nuestra red en comparación con Madrid. En el año 2013 la intensidad media diaria ha sido de 1.400 veh/día. Con dos millones de habitantes, es una región con baja densidad de población, que se encuentra diseminada, y una orografía caracterizada por zonas de llanura y otras de serranía, por lo que es muy importante mejorar la accesibilidad a las zonas de difícil orografía.

Las carreteras de Castilla-La Mancha suponen una conexión fundamental con las de Valencia y Andalucía (a través de la A-3 y A-4), que son especialmente transitadas en épocas como Navidad, Semana Santa, puentes ¿se pone en marcha, por tanto, algún dispositivo especial cuando llegan ese tipo de fechas? Y en general, no sólo



D.ª Margarita Torres Rodríguez visitando con la consejera de Fomento una obra de emergencia en Villarrubia de Santiago (Toledo).

en épocas vacacionales, ¿cómo se contempla la seguridad vial?

El principal objetivo de la Dirección General es la mejora de la seguridad vial, por lo que todas nuestras actuaciones están dirigidas a culminar este objetivo. Puedo decir que, en lo que llevamos de legislatura, el número de accidentes con víctimas en la red autonómica de Castilla-La Mancha se ha reducido un 15% y el número de víctimas mortales se ha reducido un 36,5%, siendo el año 2013 el que ha registrado el número más bajo de víctimas mortales desde que hay registro.

¿En qué se caracteriza el programa de conservación y explotación de carreteras de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha?

La conservación ordinaria se realiza por medios propios, con una plantilla que cuenta con más de 400 trabajadores que forman las brigadas de conservación y que actúan directamente en nuestras carreteras. A esto se suman contratos de apoyo a los medios propios, con un contrato por provincia, que complementan las operaciones de conservación y de vialidad invernal.

Una de las actuaciones que hemos acometido estos años ha sido una reorganización, tanto de los medios materiales como humanos, para prestar un servicio más eficiente. Para ello, ha sido necesario realizar un Plan de Recursos Humanos que se tramitó el año

pasado, siendo de aplicación la nueva organización desde enero de este año. Hemos procedido a redistribuir al personal laboral entre las zonas de conservación y ajustar la dimensión de los talleres y laboratorios a la actual actividad de la obra pública.

Por último, ¿qué opinión tiene de la labor que realizan las asociaciones de carreteras y en concreto la Asociación Técnica de Carreteras, como Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera, así como de la Asociación Mundial a la que pertenece?

Considero muy importante la labor que realizan todas las asociaciones de carreteras. Como su nombre indica, son asociaciones, por tanto, recogen el interés, la experiencia y la voluntad de distintos colectivos con un objetivo común, lo que posibilita el enriquecimiento del trabajo de todos.

La Asociación Técnica de Carreteras es un foro independiente para el estudio y la mejora de todos los aspectos técnicos que afectan a la carretera en distintos ámbitos. Creo que su labor es fundamental, en estos momentos especialmente, tanto a nivel nacional como internacional. El hecho de pertenecer a la Asociación Mundial nos permite, tanto estar informados como la oportunidad de participar de forma puntera en todas las novedades técnicas que se desarrollan en el mundo y poder contribuir, desde España, a los avances en este campo. ❖



Innovar está en nuestros genes

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



REPSOL

Inventemos el futuro

Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.
Más información en [repsol.com](https://www.repsol.com)

Influencia de la señalización y el balizamiento en la siniestralidad en curvas de carreteras convencionales

Effect of signs and traffic guidance equipment on road crashes occurrence on curves of two-lane rural roads

Ana María Pérez-Zuriaga

*Profesor Ayudante, Grupo de Investigación en Ing. de Carreteras
Universitat Politècnica de València*

Alfredo García

*Catedrático, Grupo de Investigación en Ing. de Carreteras
Universitat Politècnica de València*

Francisco Javier Camacho-Torregrosa

*Profesor Ayudante, Grupo de Investigación en Ing. de Carreteras
Universitat Politècnica de València*

Vidal Gascón Culebras

*Personal Investigador, Grupo de Investigación en Ing. de Carreteras
Universitat Politècnica de València*

Resumen

La siniestralidad en carreteras es uno de los principales problemas de la sociedad actual, especialmente en carreteras convencionales, siendo las transiciones recta-curva los puntos más conflictivos del trazado. De hecho, se estima que en ellos se concentra más del 50 % de la totalidad de los accidentes mortales en carreteras. Una de las variables consideradas de mayor influencia en la aparición de accidentes en curvas es la consistencia del trazado, así como también la densidad de señalización y balizamiento. Por ello, en el estudio que se presenta se ha evaluado y analizado la influencia de la señalización y el balizamiento, para un nivel de consistencia determinado, en la siniestralidad en curvas de carreteras convencionales.

Para ello, se ha llevado a cabo un inventario de la señalización y el balizamiento existente en 1.354 curvas correspondientes a 66 tramos de carreteras convencionales de la provincia de Valencia. En él, se ha incluido para cada curva: sus características geométricas; el perfil de velocidad de operación de la transición recta-curva correspondiente; las señales y los elementos de balizamiento existentes, así como la distancia de éstos al inicio de la curva. La base de datos resultante se ha completado con las bases de datos de siniestralidad y tráfico facilitadas por las administraciones titulares de las carreteras.

El análisis pormenorizado de la influencia de las variables analizadas en el índice de peligrosidad registrado en las curvas estudiadas ha arrojado diferentes conclusiones. Entre ellas, destaca que, para un mismo nivel de consistencia, el hecho de añadir múltiples paneles direccionales no mejora este índice, mientras que sí se observa un índice menor en curvas con presencia de señalización de límite de velocidad. La información de este estudio puede sentar las bases para un empleo más eficiente de la señalización y el balizamiento en curvas.

PALABRAS CLAVES: carretera, señalización, balizamiento, seguridad vial, diseño geométrico, consistencia.

Abstract

Road crashes is one of the most important problems of today's society, especially on two-lanes rural roads. Besides, tangent-to-curve transitions are considered the most conflictive points spots since they concentrate more than 50 % of all crashes. Road design consistency and the density of signs and traffic guidance equipment are the mostly related parameters to road crashes. This study has examined the influence of signs and traffic guidance equipment on road crashes, considering a specific consistency level.

66 two-lane rural roads segments in Valencia (Spain), including 1,354 curves, where characterized. The following parameters were extracted for each curve: geometry; tangent-to-curve transition operating speed profile; signs and traffic guidance equipment identification and location. The resulting database was completed with crash and traffic data, thanks to road Administrations.

The analysis of how those parameters influenced crash rates allowed the authors to extract several conclusions. The most important one is that crash rates do not vary with the number of chevron panels, for a specific road design consistency level. Conversely, a lower crash rates were observed on curves with posted speed limits.

The conclusions of this research may lay the foundations for a more efficient use of the signs and traffic guidance equipment on curves.

KEY WORDS: two-lane rural road, sign, traffic guidance equipment, road safety, geometric design, consistency.

1. Introducción

Los accidentes de tráfico están entre las diez primeras causas de mortalidad en la sociedad española. En la ocurrencia de estos eventos influyen principalmente el factor humano, la infraestructura y el vehículo. Diferentes estudios destacan que el factor infraestructura está presente en el 30 % de los accidentes que se producen en carretera (Treat *et al.*, 1979). Estos accidentes tienden a concentrarse en las carreteras convencionales y, especialmente, en las transiciones recta-curva, constituyendo éstas los puntos más conflictivos del trazado. De hecho, investigaciones previas (Lamm *et al.*, 1992) han estimado que más del 50 % de la totalidad de los accidentes mortales en carreteras se concentran en estas alineaciones.

El porcentaje de influencia de las características geométricas de la carretera sobre la ocurrencia de accidentes aumenta al disminuir la consistencia de su diseño geométrico, definida como el ajuste del comportamiento de la carretera a las expectativas de los conductores. La mayoría de los modelos desarrollados para la evaluación de la consistencia del diseño geométrico de carreteras se basan en cuatro áreas principalmente: la velocidad de operación y sus variaciones, la estabilidad vehicular, los índices del trazado y la carga de trabajo del conductor (Ng y Sayed, 2004; Awata y Hassan, 2002). Entre ellos, los criterios más utilizados a nivel mundial son los basados en la evaluación de la velocidad de operación, distinguiendo entre modelos locales (Lamm *et al.* 1999; García *et al.*, 2013a) y globales (Polus y Mattar-Habib, 2004; Camacho-Torregrosa *et al.*, 2013).

Además de la geometría de su trazado, otro de los elementos que pueden aumentar el porcentaje de influencia de la carretera en la aparición de accidentes son los elementos de señalización y balizamiento instalados en ella. Como señalan Lamm *et al.* (2000), la señalización vertical y

horizontal puede aumentar la seguridad vial de una sección. Sin embargo, estas mejoras raramente son sustanciales y en ningún caso son tan significativas como para transformar un diseño "pobre" en un diseño "bueno".

Para llegar a esta conclusión, llevaron a cabo un estudio sobre 79 tramos de carreteras rurales de dos carriles, donde evaluaron la influencia de tres niveles de equipamiento vial en la tasa de accidentes. El nivel 1 de los definidos comprendía la señalización horizontal básica. El nivel 2 englobaba la señal de advertencia de curva peligrosa, de advertencia de peligro por cambio brusco de dirección, de advertencia de rampas, de límite de velocidad y los paneles direccionales con hasta tres flechas, individuales o en una placa, así como las combinaciones de ambas tipologías. El nivel 3 estaba compuesto por el equipamiento vial que excede el nivel 2. En este estudio, ni siquiera el mayor nivel de señalización instalado en un tramo de carretera con un diseño calificado con consistencia "pobre" tuvo la suficiente influencia como para que los valores de la tasa de accidentalidad alcanzaran los valores propios de un diseño clasificado como "bueno".

No sólo es importante el nivel de señalización instalado, sino también cómo ésta está instalada. Algunos estudios han registrado reducciones importantes en la frecuencia de accidentes debido al empleo adecuado de la señalización vertical, así como un descenso en las tasas de fallecidos y de heridos.

Considerando que la velocidad desarrollada puede utilizarse como medida sustitutoria de la seguridad vial, diferentes estudios han analizado la influencia del tipo de señal instalada en diferentes curvas sobre la velocidad desarrollada en ellas. Charlton (2004) llevó a cabo un estudio con 30 voluntarios circulando en un escenario implementado en un simulador de conducción consistente en un tramo de carretera convencional. El escenario estaba formado por

12 curvas de diferentes características, en las que aparecía de forma aleatoria uno de los cuatro niveles de advertencia prefijados: ausencia de advertencia, señal de advertencia de peligro de curva peligrosa junto con la velocidad recomendada, panel direccional con tres flechas con velocidad recomendada y marcas viales con la velocidad recomendada pintada en la calzada.

Entre otros resultados, se concluyó que cuanto menor era la velocidad recomendada, menor era la velocidad media de paso por la curva, aunque las diferencias no eran significativas. Asimismo, se comprobó que con la velocidad recomendada mayor, la señal que mayor reducción de velocidad producía era el panel direccional.

Con base en este estudio, Charlton (2007) llevó a cabo otro estudio, también con simulador de conducción, con una muestra de 60 conductores. Los escenarios estaban compuestos por curvas con diferentes tipos de señalización. El primer grupo de escenarios consistió en: señal de advertencia de curva con hitos de arista; con hitos de arista y paneles direccionales de tres flechas con velocidad recomendada; con hitos de arista y sucesivos paneles direccionales de una flecha; con hitos de arista, con un panel direccional de tres flechas con velocidad recomendada y con sucesivos paneles direccionales de una flecha. El segundo grupo de escenarios estaba formado por señales de advertencia de curva e hitos de arista con diferentes tipos de marcas viales: eje con línea discontinua; eje con doble línea continua amarilla; eje con doble línea continua con resaltes; y eje con línea discontinua con aspas que disminuyen el ancho de los carriles y el ángulo de giro de las curvas. Finalmente, implementaron diferentes escenarios con la combinación de la señalización vertical, los elementos de balizamiento y las marcas viales enumeradas. Tras el estudio se concluyó que los diferentes elementos adicionales suponen una disminución de la velocidad.

Como puede observarse, son pocos los estudios que han analizado la influencia de la señalización y el balizamiento en la seguridad vial. Además, la mayoría se han llevado a cabo con una muestra reducida, por lo que los resultados pueden suponer un punto de partida pero no pueden considerarse finales.

2. Objetivos e hipótesis

El principal objetivo de la investigación que se presenta es estudiar la influencia de los elementos de señalización y balizamiento en la siniestralidad ocurrida en curvas de carreteras convencionales, diferenciando entre los distintos niveles de consistencia.

Para ello, el estudio se ha basado en la hipótesis de que el tipo, la cantidad y la disposición de la señalización y el balizamiento en una curva tienen una influencia significativa en la siniestralidad. Sin embargo, esta influencia no se considera tan importante como para conseguir que un diseño con un nivel de consistencia "pobre" presente una siniestralidad propia de un diseño con un nivel de consistencia "buena", es decir, no es capaz de compensar limitaciones de consistencia.

3. Desarrollo

En el presente apartado se muestra el procedimiento que se ha llevado a cabo para la obtención de los datos en los que basar el estudio, así como el posterior análisis de los mismos, necesario para la consecución del objetivo descrito en el apartado anterior.

3.1. Tratamiento de datos

El estudio se ha desarrollado a partir de una amplia base de datos de curvas de carreteras convencionales que ha incluido para cada curva: su identificación, sus características geométricas, su volumen de tráfico, los accidentes registrados en ella, la velocidad de operación en la correspondiente transición recta-curva, su

nivel de consistencia y los elementos de señalización y balizamiento instalados en la misma.

3.1.1. Identificación y caracterización geométrica de las curvas

La investigación se ha centrado en el análisis de 33 tramos de carretera convencional, situados en la provincia de Valencia. En ellos, se han identificado 677 curvas, que, considerando ambos sentidos de circulación, constituyen 1.354 curvas a efectos del estudio.

Una vez identificados los tramos de carretera a incluir en el estudio, se ha procedido a la restitución de su geometría en planta con base en las fotografías aéreas proporcionadas por la aplicación *Google Earth*. La metodología utilizada se basa en clicar sobre sucesivos puntos del eje de la carretera para la obtención de sus coordenadas. Con los datos de posición resultantes, se ha restituido la geometría del trazado en planta de cada uno de los tramos según la metodología desarrollada por Camacho-Torregrosa *et al.* (2014). De esta forma, se han obtenido los correspondientes estados de alineaciones, en los que se incluyen todas las características geométricas de los elementos objetos de estudio.

3.1.2. Volumen de tráfico

Los datos de aforos de volúmenes de tráfico han sido facilitados por la administración competente correspondiente a los tramos de carretera estudiados (*Conselleria* de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente). La base de datos disponible proporciona los valores de intensidad media diaria (IMD) desde el año 2001 hasta el año 2010.

3.1.3. Accidentalidad

Los datos de accidentalidad han sido facilitados por la misma administración. En este caso, se dispone de

los accidentes ocurridos en los años citados con información relacionada con el punto kilométrico en el que se ha producido cada accidente, el número de víctimas clasificadas según su gravedad, la posible causa del accidente y el tipo de configuración en la que se ha producido. Gracias a estos datos, se ha podido determinar la localización de los accidentes, incluyendo, no sólo el punto kilométrico en el que se han producido, sino también el sentido de circulación de los vehículos involucrados.

Sin embargo, la asignación de los accidentes a las curvas estudiadas no ha sido inmediata, debido a que la localización de los accidentes está registrada con una precisión de hectómetros. Por ello, se ha tenido que establecer un criterio de asignación de accidentes a curvas. Este criterio se basa en la asignación de un accidente a una curva siempre y cuando el hectómetro en el que se produce este accidente se solape con el desarrollo de la curva o con el hectómetro posterior a ésta, diferenciando entre ambos sentidos de circulación.

De todos los datos disponibles únicamente se han considerado los accidentes en los que ha habido víctimas y se han excluido aquellos en los que las causas eran claramente ajenas a la carretera, como por ejemplo los causados por atropello de animales.

A partir de estos datos, y de los de volumen de tráfico se ha calculado para cada una de las curvas el índice de peligrosidad, definido como el número de accidentes con víctimas producidos por cada 100 millones de vehículos que pasan por la curva.

3.1.4. Estimación de la velocidad de operación

A partir de los estados de alineaciones, obtenidos de la restitución de la geometría de cada uno de los tramos, se han estimado los correspondientes perfiles de velocidad de operación. Para ello, se han utilizado los modelos

propuestos por Pérez-Zuriaga *et al.* (2010) y Camacho-Torregrosa *et al.* (2013) para la estimación de la velocidad de operación en rectas y curvas y de las tasas de deceleración y aceleración que permiten su unión para, finalmente, disponer de los perfiles de velocidad de operación continuos.

Las ecuaciones (1), (2) y (3) muestran los modelos utilizados para la estimación de la velocidad de operación en curvas.

$$V_{85C} = 97,4254 - 3310,94/R \quad (1)$$

400 m < R ≤ 950 m

$$V_{85C} = 102,048 - 3990,26/R \quad (2)$$

70 m < R ≤ 400 m

$$V_{85C} = 127 \cdot R \cdot (f_t + e/100) \quad (3)$$

R ≤ 70 m

donde: V_{85C} es la velocidad de operación en curva (km/h); R es el radio de la curva (m); f_t es el coeficiente de rozamiento transversal movilizado; y e es el peralte de la curva (%).

La ecuación (4) muestra el modelo para la estimación de la velocidad en rectas.

$$V_{85T} = V_{85C} + (1 - e^{-\lambda L}) \cdot (V_{des} - V_{85C}) \quad (4)$$

donde: V_{85T} es la velocidad de operación en rectas (km/h); L es la longitud de la recta (m); V_{des} es la velocidad deseada (110 km/h); y λ viene dada por la ecuación (5).

$$\lambda = 0,00135 + (R - 100) \cdot 7,00625 \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

Las ecuaciones (6) y (7) se corresponden con los modelos para la obtención de las tasas de deceleración y de aceleración.

$$d_{85} = 0,313 + 114,436/R \quad (6)$$

$$a_{85} = 0,41706 + 65,93588/R \quad (7)$$

donde: d_{85} es la tasa de deceleración (m/s^2) y a_{85} la tasa de aceleración (m/s^2).

Tabla 1. Intervalos de consistencia para los tres criterios de consistencia utilizados en el estudio.

Nivel de consistencia	Criterio I Lamm (km/h)	Criterio II Lamm (km/h)	Criterio ICI (km/h)
Bueno	$ V_{85} - V_d \leq 10$	$ V_{85i} - V_{85i+1} \leq 10$	$ICI \leq 10$
Aceptable	$10 < V_{85} - V_d \leq 20$	$10 < V_{85i} - V_{85i+1} \leq 20$	$10 < ICI \leq 20$
Pobre	$ V_{85} - V_d > 20$	$ V_{85i} - V_{85i+1} > 20$	$ICI > 20$

3.1.5. Evaluación de la consistencia

Uno de los parámetros que se han tenido en cuenta en el análisis ha sido el nivel de consistencia de cada una de las curvas. La consistencia se ha evaluado según tres criterios distintos: criterio I y II de Lamm *et al.* (1999) y el criterio inercial propuesto por García *et al.* (2013a).

El criterio I de Lamm *et al.* (1999) se basa en la diferencia entre la velocidad de operación y la velocidad de diseño. Este criterio permite la identificación de los elementos del trazado cuyo diseño no se ajusta al trazado general de la carretera. Para su empleo en este estudio, ha sido necesario realizar previamente una tramificación de la carretera, con el fin de obtener la velocidad de diseño. Para ello, se ha utilizado el procedimiento desarrollado por García *et al.* (2013b).

El criterio II de Lamm *et al.* (1999) está basado en la reducción de la velocidad de operación entre dos elementos consecutivos. Este criterio indica la sorpresa experimentada por los conductores que les hace disminuir su velocidad, al pasar de un elemento al siguiente.

El criterio inercial desarrollado por García *et al.* (2013a) se basa en la diferencia entre la velocidad de operación inercial al inicio de la curva y la velocidad de operación en ella, definida para un punto como la velocidad de operación media en el kilómetro directamente anterior. A esta diferencia se le ha denominado Índice de Consistencia Inercial (ICI). Este criterio es un indicador de cómo el trazado se ajusta a las expectativas de los conductores.

Los intervalos de consistencia de cada uno de los criterios enunciados se muestran en la Tabla 1.

3.1.6. Caracterización de la señalización y el balizamiento

Para la caracterización de los elementos de señalización y balizamiento, se ha realizado un inventario de estos elementos de cada una de las curvas incluidas en el estudio mediante la herramienta *Street View* de *Google Earth*, incluyendo la distancia entre la localización de éstos y el inicio y el final de la curva.

Los elementos considerados son: señal de advertencia de doble curva; señal de advertencia de curva; señal de recomendación de velocidad 40 km/h, 50 km/h, 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h; panel direccional único; panel direccional doble; panel direccional triple; panel direccional corto; y señal de límite de velocidad 40 km/h, 50 km/h, 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h, 100 km/h.

3.2. Análisis

En el análisis desarrollado a lo largo de la investigación que se presenta se ha estudiado la relación existente entre cada uno de los parámetros obtenidos en el apartado anterior y el índice de peligrosidad. Sin embargo, a continuación, únicamente se muestra el análisis de la influencia de la señalización y el balizamiento en el índice de peligrosidad, diferenciando entre cada uno de los niveles de consistencia. Estos niveles son los correspondientes al criterio II de Lamm *et al.* (1999), en el que se compara la velocidad de

operación de la curva con la velocidad de operación en la recta anterior, y al criterio inercial desarrollado por García *et al.* (2013a), en el que se compara la velocidad de operación de la curva con la velocidad de operación inercial.

3.2.1. Influencia de la existencia de paneles direccionales según el intervalo del índice de consistencia inercial (ICI)

En este análisis, se ha estudiado la variación del índice de peligrosidad en las curvas con un nivel de consistencia dado, calculado según el ICI, considerando la presencia o no de paneles direccionales.

Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Como puede observarse, en todos los casos, el índice de peligrosidad es considerablemente mayor cuando se dispone de, al menos, un panel direccional anunciando la curva.

En cuanto al porcentaje de curvas sin accidentes, se aprecia que, salvo en el primer intervalo, hay un porcentaje mayor de curvas sin accidentes entre las curvas que no disponen de paneles direccionales. Sin embargo, las diferencias entre los porcentajes de curvas sin accidentes con y sin paneles direccionales son mínimas.

3.2.2. Influencia de la presencia de paneles direccionales según el criterio II de Lamm *et al.* (1999)

Para este análisis se ha evaluado la variación del índice de peligrosidad en las curvas con un nivel de consistencia dado, calculado según el criterio II de Lamm *et al.* (1999), considerando la presencia o no de paneles direccionales.

Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Los resultados muestran que las curvas en las que no se han instalado paneles direccionales presentan un índice de peligrosidad medio ponderado significativamente menor que aquellas que sí disponen de dichos paneles. La

Tabla 2. Índice de Peligrosidad medio y porcentaje de curvas sin accidentes, según la presencia o no de paneles direccionales, según el nivel de consistencia (ICI).

	Existencia Panel Direccional	IPm	IPm (sin 0)	Nº curvas	Nº curvas sin acc	% curvas sin acc
0 < ICI < 5	NO	0,165	1,083	85	72	84,705
	SI	0,210	1,989	142	127	89,436
5 < ICI < 10	NO	0,117	1,735	59	55	93,220
	SI	0,411	3,855	178	159	89,325
10 < ICI < 15	NO	0,190	1,446	38	33	86,842
	SI	0,483	2,921	151	126	83,443
ICI > 15	NO	0,137	1,276	37	33	89,189
	SI	0,542	2,968	115	94	81,739

Tabla 3. Índice de Peligrosidad medio y porcentaje de curvas sin accidentes, según la presencia o no de paneles direccionales, según el nivel de consistencia (criterio II Lamm).

	Presencia Panel Direccional	IPm	IPm (sin 0)	Nº curvas	Nº curvas sin acc	% curvas sin acc
0 < V85i-V85i+1 < 5	NO	0,117	1,436	208	191	91,826
	SI	0,275	2,214	225	197	87,555
5 < V85i-V85i+1 < 10	NO	0,334	2,611	125	109	87,200
	SI	0,430	3,000	216	185	85,648
10 < V85i-V85i+1 < 15	NO	0,127	1,430	56	51	91,071
	SI	0,332	2,779	117	103	88,034
15 < V85i-V85i+1 < 20	NO	0,054	1,203	22	21	95,454
	SI	0,570	3,424	66	55	83,333
V85i-V85i+1 > 20	NO	0,060	1,023	17	16	94,117
	SI	0,847	5,677	67	57	85,074

diferencia entre el índice de peligrosidad medio ponderado de las curvas con y sin paneles es mayor cuanto mayor es el nivel de consistencia.

Considerando el porcentaje de curvas sin accidentes, se observa que en todos los casos hay un porcentaje mayor de curvas sin accidentes entre las curvas que no disponen de paneles direccionales.

3.2.3. Influencia de la presencia de señales de límite de velocidad según el intervalo del índice de consistencia inercial (ICI)

En este análisis se ha evaluado la variación del índice de peligrosidad en curvas con y sin señales de

limitación de velocidad, para los diferentes intervalos de consistencias, calculados según el criterio basado en el índice de consistencia inercial. En este caso, únicamente se han considerado dos intervalos debido a la escasa muestra existente de curvas con señalización de límite de velocidad.

Los resultados se muestran en la Tabla 4.

En la Tabla 4 se observa que el índice de peligrosidad medio ponderado es mayor en curvas con límite de velocidad cuando el índice de consistencia inercial se encuentra entre 0 y 10, pero es menor cuando ICI es mayor de 10. Estos resultados se obtienen al considerar todas las curvas. Sin embargo, si únicamente se consideran las curvas con accidentes, se observa que el

Tabla 4. Índice de Peligrosidad medio y porcentaje de curvas sin accidentes, según la presencia o no de señales de límite de velocidad, según el nivel de consistencia (ICI).

	Presencia Señal Límite	IPm	IPm (sin 0)	Nº curvas	Nº curvas sin acc	% curvas sin acc
0 < ICI < 10	NO	0,261	2,521	444	398	89,639
	SI	0,386	1,624	21	16	76,190
ICI > 10	NO	0,539	3,226	323	269	83,281
	SI	0,106	1,007	19	17	89,473

Tabla 5. Índice de Peligrosidad medio y porcentaje de curvas sin accidentes, según la presencia o no de señales de límite de velocidad, según el nivel de consistencia (criterio II Lamm).

	Presencia Señal Límite	IPm	IPm (sin 0)	Nº curvas	Nº curvas sin acc	% curvas sin acc
0 < V85i-V85i+1 < 10	NO	0,275	2,463	447	397	88,814
	SI	0,054	0,975	18	17	94,444
V85i-V85i+1 > 10	NO	0,430	2,681	318	267	83,962
	SI	1,644	7,892	24	19	79,166

índice de peligrosidad medio ponderado es mayor cuando no existe límite de velocidad en todos los casos.

En cuanto al porcentaje de curvas sin accidentes, se observa que, en el caso de valores de ICI bajos, este porcentaje es mayor cuando no existe límite de velocidad, y al contrario cuando el valor de ICI es superior a 10.

3.2.4. Influencia de la presencia de señales de límite de velocidad según el criterio II de Lamm *et al.* (1999)

En el ámbito de este análisis se ha evaluado la variación del índice de peligrosidad en las curvas con un nivel de consistencia dado, calculado según el criterio II de Lamm *et al.* (1999), considerando la presencia o no de señales de límite de velocidad. Al igual que en el caso anterior, únicamente se han considerado dos intervalos de consistencia debido a la escasez de muestra de curvas con señal de límite de velocidad.

Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Los valores obtenidos muestran una notable diferencia entre los dos niveles de consistencia considerados. En el primero de ellos, el índice de pe-

ligrosidad medio ponderado es mayor ante la ausencia de señalización de límite de velocidad, manteniendo esta tendencia cuando no se consideran en el análisis las curvas sin accidentes. En el segundo intervalo de consistencia, los resultados son totalmente opuestos.

Esta tendencia se observa también en lo que a porcentaje de curvas sin accidentes se refiere. En el primer intervalo de consistencia analizado, el porcentaje de curvas sin accidentes es mayor en los casos en los que hay señalización de límite de velocidad, mientras que, en el segundo intervalo, el porcentaje de curvas sin accidentes es mayor donde no se dispone de señales de límite de velocidad.

4. Discusión

Durante el desarrollo de la investigación que se presenta se han llevado a cabo un número considerable de análisis, estudiando cómo influye cada uno de los parámetros mencionados en los valores arrojados por el índice de peligrosidad. Sin embargo, en el presente artículo únicamente se han descrito los correspondientes a la influencia de la presencia de paneles

direccionales y señales de límite de velocidad, por considerarse los más relevantes en este ámbito.

A pesar de que la hipótesis inicial se basaba en que la señalización y el balizamiento en una curva tienen una influencia significativa en la reducción de la siniestralidad, los resultados de los análisis muestran que no siempre se cumple.

Al estudiar la influencia de la existencia de paneles direccionales en el índice de peligrosidad, se observa que, tanto al agrupar las curvas según los niveles de consistencia marcados por Lamm *et al.* (1999) como al agruparlos según el criterio de consistencia propuesto por García *et al.* (2013a), el índice de peligrosidad medio ponderado es en todos los casos mayor en el grupo de curvas en las que se han dispuesto paneles direccionales. La diferencia entre el índice de peligrosidad medio ponderado del grupo de curvas con paneles y el índice del grupo de curvas sin paneles es mayor al aumentar tanto los valores del ICI como las diferencias de velocidad de operación entre elementos consecutivos, siendo máxima en curvas con un alto nivel de inconsistencia. Del mismo modo, se observa que en ambos casos el porcentaje de curvas sin accidentes es mayor en el grupo de curvas con muy buena consistencia con paneles direccionales. Sin embargo, en el grupo de curvas con una consistencia "aceptable" o "pobre", el porcentaje de curvas sin accidentes es mayor donde no hay paneles direccionales.

Estos resultados pueden ser debidos a que el balizamiento instalado es insuficiente, siendo necesario aumentar el número de paneles. También puede ocurrir que las curvas en cuestión sean potencialmente más peligrosas y que este nivel de peligrosidad no haya podido solventarse completamente con la colocación de paneles direccionales, sino que es necesario llevar a cabo una actuación diferente. Además, puede darse el caso de que las curvas en las que no

hay paneles direccionales sean mucho menos peligrosas, y por eso no se haya contemplado su colocación. Todas estas casuísticas no pueden comprobarse con los datos disponibles.

En el caso de la señalización de límites de velocidad, en el grupo de curvas con una consistencia "buena" según el criterio del ICI, el índice de peligrosidad medio ponderado es mayor en el subgrupo de curvas con señalización de límite de velocidad, aunque la diferencia con el subgrupo sin señalización es mínima. Sin embargo, en el grupo de curvas con consistencia "aceptable" o "pobre" el índice de peligrosidad medio ponderado es mucho mayor en el subgrupo de curvas sin límite de velocidad. Asimismo, el porcentaje de curvas sin accidentes en el grupo de curvas con "buena" consistencia es mayor donde no hay señal de limitación de velocidad, y en el grupo de curvas con consistencia "aceptable" o "pobre" es mayor donde sí hay señal de límite de velocidad.

Al considerar la evaluación de la consistencia según Lamm *et al.* (1999), en el grupo de curvas con "buena" consistencia el índice de peligrosidad medio ponderado es mayor cuando no hay señalización de velocidad y en el grupo de curvas con consistencia "aceptable" o "mala" es mayor el índice de peligrosidad medio ponderado cuando sí hay límite de velocidad. Estas tendencias se mantienen en el caso de porcentaje de curvas sin accidentes.

Estos dos últimos casos resultan contradictorios, posiblemente por la reducida muestra de curvas con señal de límite de velocidad. Considerando que el criterio inercial de García *et al.* (2013a) se ha desarrollado a partir de datos de carreteras de la provincia de Valencia, se consideran más idóneos los resultados obtenidos en el análisis en el que se ha considerado este criterio de consistencia frente al análisis en el que se ha considerado el criterio de Lamm *et al.* (1999).

Por tanto, según los resultados obtenidos puede concluirse que para

curvas con consistencia "buena" la presencia de señalización de límite de velocidad no tiene una influencia claramente significativa sobre la siniestralidad. Sin embargo, en el caso del grupo de curvas con consistencia "aceptable" o "pobre" la presencia de señalización de límite de velocidad tiene una influencia positiva sobre la siniestralidad, ya que el índice de peligrosidad es mucho mayor en el grupo de curvas en el que no existe limitación de velocidad. Con todo ello, se puede entender que cuando la inconsistencia existe, la señalización de límites de velocidad específicos influye significativamente reduciendo la siniestralidad, llegando incluso a niveles de curvas de consistencia "buena".

No obstante, esta conclusión no puede darse como válida sin una mayor profundización en el análisis, debido a que se tienen datos de la señalización existente pero no del año de instalación de la señalización. Es probable que un mayor nivel de señalización se corresponda con una mayor tasa de peligrosidad porque la señalización y el balizamiento se hayan instalado como una medida correctora ante una alta ocurrencia de accidentes.

Por tanto, es necesario conocer el momento de instalación de la señalización y el balizamiento y comparar el número de accidentes ocurridos antes y después de esta instalación. De esta forma, sería posible comprobar también si una mala concepción del diseño geométrico de una carretera puede solventarse con la instalación de señalización y balizamiento, verificando así la hipótesis aceptada hasta ahora; o si, por el contrario, las inconsistencias del diseño geométrico prevalecen sobre el aumento del equipamiento viario.

Asimismo, sería posible profundizar en el análisis de la influencia de la señalización y del balizamiento en la siniestralidad llevando a cabo un estudio antes/después, en el que en diferentes curvas sin señalización o sin balizamiento se fueran incorporando distintas combinaciones de

estos elementos. El inconveniente de este estudio es su coste y el hecho de que es necesario disponer datos de, al menos, tres o cinco años de cada uno de los escenarios para que el análisis pueda considerarse válido.

5. Conclusiones

En la investigación presentada se ha analizado la influencia que la presencia de la señalización vertical y el equipamiento tienen en la ocurrencia de accidentes. Concretamente, se ha calculado el índice de peligrosidad medio ponderado para diferentes grupos de curvas, definiéndose como el cociente entre el número total de accidentes con víctimas que se han producido en esas curvas y el volumen total de tráfico de las mismas. La agrupación de las curvas se ha llevado a cabo según su nivel de consistencia, evaluada según dos criterios: el criterio II de Lamm *et al.* (1999) y el criterio inercial propuesto por García *et al.* (2013a). Cada grupo de curvas se ha subdividido en dos subgrupos según la presencia o no de señalización de velocidad límite o de paneles direccionales, dependiendo del estudio realizado.

El análisis se ha realizado sobre una base de datos de 66 tramos de carreteras de la provincia de Valencia, en los que se han identificado y caracterizado 1.354 curvas. En dicha base de datos se han incluido: las características geométricas obtenidas a partir de la restitución de la geometría de los tramos de carretera seleccionados; los datos de accidentes y volumen de tráfico facilitados por la administración competente; el perfil de velocidad de operación de cada una de las transición recta-curva estimado a partir de modelos desarrollados y calibrados en investigaciones anteriores; y la señalización vertical y el balizamiento instalado en cada una de las curvas.

El profundo análisis desarrollado en torno a la influencia de las diferentes variables analizadas y, especialmente, de la presencia de paneles

direccionales y de señalización de límite de velocidad en el índice de peligrosidad medio ponderado de los grupos de curvas descritos, ha arrojado interesantes conclusiones.

En cuanto a la presencia de paneles direccionales, se ha comprobado que en los grupos de curvas con este balizamiento el índice de peligrosidad medio ponderado es mayor, para cualquier nivel de consistencia, aumentando considerablemente en el caso de curvas con peor nivel de consistencia. Este hecho puede sugerir que añadir múltiples paneles direccionales no mejora el índice de peligrosidad.

En el caso de la instalación de señalización de límite de velocidad, se concluye que para curvas con consistencia "buena" la presencia de señalización de límite de velocidad no tiene una influencia claramente significativa sobre la siniestralidad. Sin embargo, la limitación de velocidad parece tener una influencia positiva sobre la siniestralidad en curvas con una consistencia "aceptable" o "pobre".

A pesar de que el estudio realizado precisa, como se ha comentado en el apartado de discusión, una mayor profundidad para obtener resultados concluyentes, este análisis puede sentar las bases para un empleo más eficiente de la señalización y el balizamiento. Asimismo, sus resultados resaltan la importancia de un buen diseño geométrico de las carreteras frente a la excesiva señalización de carreteras mal diseñadas.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la *Conselleria* de Infraestructuras, Transporte y Medio Ambiente de la *Generalitat* Valenciana, y al Área de Carreteras de la Diputación de Valencia por el apoyo prestado en la recogida de datos y en la información proporcionada.

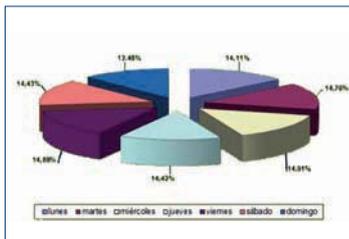
Asimismo, quieren destacar que la toma de datos continuos de velocidad se llevó a cabo dentro del proyecto REVEL – Una Metodología para la Revisión de los Límites de

Velocidad, cuyo número de referencia es PT-2006-031-25 IAPP, gracias a la subvención parcial recibida del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Ministerio de Fomento).

6. Bibliografía

- [1] AWATA, M. y HASSAN, Y. (2002). "Towards establishing an overall safety-based geometric design consistency measure". 4th Transportation Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering.
- [2] CAMACHO-TORREGROSA, F.J., PÉREZ-ZURIAGA, A.M., CAMPOY-UNGRÍA, J.M. y GARCÍA, A. (2013). "New geometric design consistency model based on operating speed profiles for road safety evaluation". *Accident analysis and Prevention*, 61C, pp. 33-42.
- [3] CAMACHO-TORREGROSA, F.J., PÉREZ-ZURIAGA, A.M., LÓPEZ-PORTA, E.M. y GARCÍA, A. (2014). "Restitución geométrica en planta de carreteras mediante el empleo de métodos analíticos basados en el azimut". XI Congreso de Ingeniería del Transporte.
- [4] CHARLTON, S.G. (2004). "Perceptual and attentional effects on drivers' speed selection at curves". *Accident Analysis and Prevention*, 36, pp. 877-884.
- [5] CHARLTON, S.G. (2007). "The role of attention in horizontal curves: A comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments". *Accident Analysis and Prevention*, 39, pp. 873-885.
- [6] GARCÍA, A., LLOPIS-CASTELLÓ, D., CAMACHO-TORREGROSA, F.J. y PÉREZ-ZURIAGA, A.M. (2013a). "New consistency index based on inertial operating speed". *Transportation Research Record*, 2391, pp. 3-14.
- [7] GARCÍA, A., LLOPIS-CASTELLÓ, D., PÉREZ-ZURIAGA, A.M. y CAMACHO-TORREGROSA, F.J. (2013b). "Homogeneous road segment identification based on inertial operating speed". *Transportation Research Board (TRB) 92nd Annual Meeting*.
- [8] LAMM, R., CHOUERI, E. M. y MAILAENDER, T. (1992). "Traffic safety on two continents – A ten year analysis of human and vehicular involvements". *Proceedings of the Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents*, pp. 18-20.
- [9] LAMM, R., PSARIANOS, B. y MAILAENDER, T. (1999). "Highway design and traffic safety engineering handbook". McGraw-Hill Companies, Inc.
- [10] LAMM, R., ZUMKELLER, K. y BECK, A. (2000). "Traffic safety – The relative effectiveness of a variety of road markings and traffic control devices". *International Conference: Road Safety on Three Continents*, CSIR, TRB, VTI, BASt. Pretoria, South Africa.
- [11] NG, J. C. W. y SAYED, T. (2004). "Effect of geometric design consistency on road safety". *Canadian Journal of Civil Engineering* 31 (2), pp. 218-227.
- [12] PÉREZ-ZURIAGA, A.M., GARCÍA GARCÍA, A., CAMACHO-TORREGROSA, F.J. y D'ATTOMA, P. (2010). "Modeling operating speed and deceleration on two-lane rural roads with global positioning system data". *Transportation Research Record*, 2171, pp. 11-20.
- [13] POLUS, A. y MATTAR-HABIB, C. (2004). "New consistency model for rural highways and its relationship to safety". *Journal of Transportation Engineering*, 130(3), pp.286-293.
- [14] TREAT, J.R, TUMBAS, N.S., MCDONALD, S.T., SHINAR, D., HUME, R.D., MAYER, R.E., STANSIFER, R.L. y CASTELLAN, N.J. (1979). "Tri-level study of the causes of traffic accidents: Final report – Executive summary. Bloomington". Institute for Research in Public Safety. [REPORT No. DOT-HS-034-3-535-79-TAC(S)]. ❖

Análisis de la accidentalidad en tramos de obras en las carreteras españolas durante el periodo 2000 a 2012



Analysis of accidents in sections of works on Spanish roads over the period 2000-2012

Comité Técnico de Seguridad Vial
Asociación Técnica de Carreteras

Redactado por:

Pablo Sáez, *ACEX, Asociación de Conservación y Explotación*
Roberto Llamas Rubio, *Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento*
Pablo Pérez del Villar Cruz, *Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento*

Resumen

El documento aborda la problemática, transcendencia y caracterización de la accidentalidad en carretera, de forma específica en las zonas de obras y en el periodo 2000 a 2012.

Este documento es continuación de otro anterior que abordó la misma problemática entre el periodo 2000 a 2007.

Se cuantifica la importancia y peligrosidad de la accidentalidad en zona de obras frente a la accidentalidad global, diferenciando la red Estado y el resto de redes.

Se analiza la distribución semanal y horaria de la accidentalidad en zona de obras

Se identifica la accidentalidad y mortalidad por tipo de accidente en zona de obras.

PALABRAS CLAVES: zona de obra, accidentalidad, peligrosidad.

Abstract

The paper addresses the problem, significance and characterization of road accidents, specifically on construction sites and in the period 2000-2012.

This paper is a continuation of a former one which addressed the same issue in the period 2000-2007.

The importance and danger of accidents in work zones are quantified as compared with the global accident rate, differentiating the State network from other networks.

Weekly and hourly distribution of the accidents is analyzed in construction zones

Accidents and mortality are identified by type of accident in construction areas.

KEY WORDS: construction zone, accident rate, danger.

Prólogo

(Por Roberto Llamas Rubio, presidente del Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de Carreteras)

Las obras en la carretera y en sus márgenes con incidencia en el flujo de la circulación son cada vez más frecuentes y van adquiriendo mayor relevancia y preocupación entre los responsables de la gestión de la infraestructura y el tráfico. Las demandas de los usuarios y la mejora de los estándares de calidad por parte de los titulares de las carreteras, exigen que muchas de las actividades necesarias para un adecuado mantenimiento, reparación o reposición de elementos de la vía y su entorno se lleven a cabo manteniendo la circulación de los vehículos. De igual manera sucede, en la mayoría de los casos, con las actuaciones de reforma y mejora de las características de la vía para incrementar los niveles de seguridad vial. La realización de todo este tipo de actividades y operaciones, en las que existe una coexistencia con la circulación de los vehículos, conlleva interferencias con el tráfico rodado con el consiguiente aumento del riesgo de sufrir accidentes.

Es por ello, que se haya incrementado la sensibilización social ante este tipo de situaciones de circulación por vías en tramos en obra, demandando mayores medidas de seguridad para la circulación en dicho tramos así como la de los propios operarios que llevan a cabo tales actividades.

Esta inquietud por mejorar la seguridad en estos tramos de vía fue lo que motivó al Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) a abordar su estudio y caracterizar su accidentalidad.

Así pues, dicho Comité se propuso, dentro de las actividades a llevar a cabo en durante el periodo anterior, analizar la problemática y trascendencia de la accidentalidad con víctimas en carretera en zona de obras en España. Se estudió este tipo de accidentalidad entre los años 2000-2007, basándose

en los datos existentes en el registro oficial estadístico de accidentes de la Dirección General de Tráfico del Ministerio del Interior, complementado con la identificación de la red viaria dependiente de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

Dicha labor fructificó con la presentación de una ponencia en el último Congreso Mundial de la Carretera celebrado en México en 2011.

Esta tarea ha continuado en el seno del Comité, analizando la evolución de la problemática de la accidentalidad en zona de obras en los últimos doce años, para lo que se ha actualizado el estudio, ampliándolo entre los años 2008 a 2012, estudiando el periodo completo 2000-2012, y realizando un análisis comparativo entre ambos subperiodos y entre lo acontecido en la Red de Carreteras del Estado (RCE) y en el resto de redes viarias dependientes de las Administraciones Regionales.

Reseñar que los datos considerados en cada uno de los accidentes ocurridos en zona de obras, al igual que en el anterior estudio, y que han servido como base para el análisis realizado, han sido: carretera y titularidad, punto kilométrico, tipo de accidente, fallecidos, heridos graves, heridos leves, día/noche, día de la semana, hora, señalización de peligro y visibilidad señalización vertical.

Con la publicación de este artículo se culmina la labor realizada hasta ahora en este campo. En él se resumen los resultados más significativos de dicho análisis actualizado y comparativo realizado por uno de los subgrupos de actividad del Comité.

Debe destacarse que en los últimos años se han realizado notables esfuerzos en mejorar la seguridad de la circulación en los tramos en obra pero todavía hay margen de mejora (mayor credibilidad de la señalización implantada en estas zonas, adecuando ésta a las circunstancias verdaderamente existentes; mejorar e incrementar las medidas tendentes a adecuar la velocidad, atención y comportamiento de los conductores; aumentar la visibilidad y

protección de los operarios, etc.). Y en este propósito de reducir los accidentes y sus consecuencias en los tramos de carretera en obras debemos participar y comprometernos todos. Se trata de una responsabilidad compartida.

Por último y como presidente del Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de Carreteras, quisiera expresar mi agradecimiento a todos los miembros que de alguna manera han participado y contribuido al trabajo desarrollado por el grupo anteriormente citado, y en especial a los autores de este artículo por su esfuerzo y dedicación.

1. Introducción

Primeramente se pasa a analizar la evolución que la accidentalidad general y el número de fallecidos en las carretera españolas a lo largo de estos últimos doce años (2000-2012) y también los acaecidos en zonas de obras. Hay que señalar que los últimos datos de accidentalidad disponibles corresponden al año 2012. En las Figuras 1 y 2 se muestra la evolución de dichos parámetros. Reseñar que se han utilizado escalas diferentes en ordenadas para la accidentalidad general y la correspondiente a zonas en obras, para poder visualizar mejor las tendencias y las pendientes de las curvas correspondientes.

En el año 2000 con 44.720 accidentes con víctimas (ACV) y 4.706 víctimas mortales (VM) en el conjunto de carreteras interurbanas españolas (sin considerar la zona urbana) tuvieron lugar 1.133 ACV y 112 VM en tramos en obras, mientras que en el 2012 en el conjunto de carreteras (zona interurbana) ocurrieron 32.278 ACV con 1.443 VM y en zonas con obras los accidentes y fallecidos fueron 528 y 35, respectivamente.

Se observa un notable descenso en la accidentalidad, tanto en el total de la red de carreteras como en la de los tramos de obra, en dicho periodo. Sin embargo, la pendiente de la curva de descenso es más acusada en el caso de los accidentes en zona de obra que en la totalidad de accidentes en la

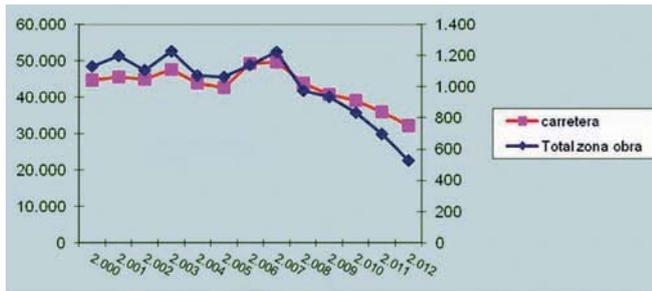


Figura 1. Evolución de la accidentalidad en carretera y en zonas de obras. Periodo: 2000/2012.

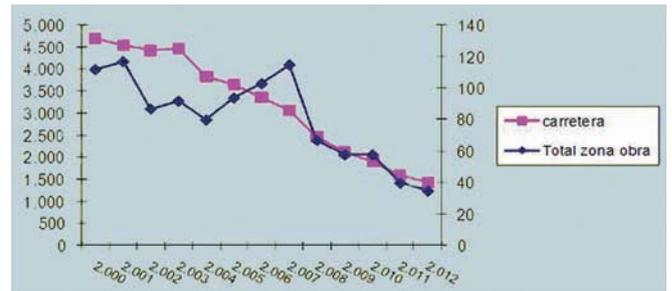


Figura 2. Evolución de la mortalidad en carretera y en zonas de obras. Periodo: 2000/2012.

red de carreteras. Ello está motivado o, mejor dicho, es reflejo del menor número de tramos de obra existentes, consecuencia directa de la disminución de la inversión en carreteras en los últimos años motivada por la recesión económica.

En lo que respecta a la evolución del número de fallecidos totales, en zona interurbana, en carretera y la habida en las zonas de obra se observa una pendiente de la curva de descenso similar para ambos tipos de mortalidad, cambiándose la tendencia de crecimiento de los años 2005, 2006 y 2007 que tuvo lugar en la mortalidad en zona de obra.

2. Importancia de la accidentalidad y mortalidad en zona de obras

Para evaluar la importancia de la accidentalidad con víctimas en zona de obras en las redes de carreteras, se ha obtenido el porcentaje que representa el número de accidentes con víctimas en zona de obra con respecto al número total de accidentes con víctimas en la red de carreteras, diferenciando la red de Carreteras de la Administración Central, del resto de las administraciones.

Recordemos que en el periodo 2000 a 2007 la media de los accidentes con víctimas en los tramos de obra se situaba en el 2,49%, mientras que en el periodo más reciente 2008 a 2012, este valor se sitúa en el 2,05%. Es decir se ha producido un descenso significativo debido, sin duda, al menor volumen de obras que en este periodo se han venido realizando en las redes de carreteras de nuestro país, por efecto de la disminución en inversión de las

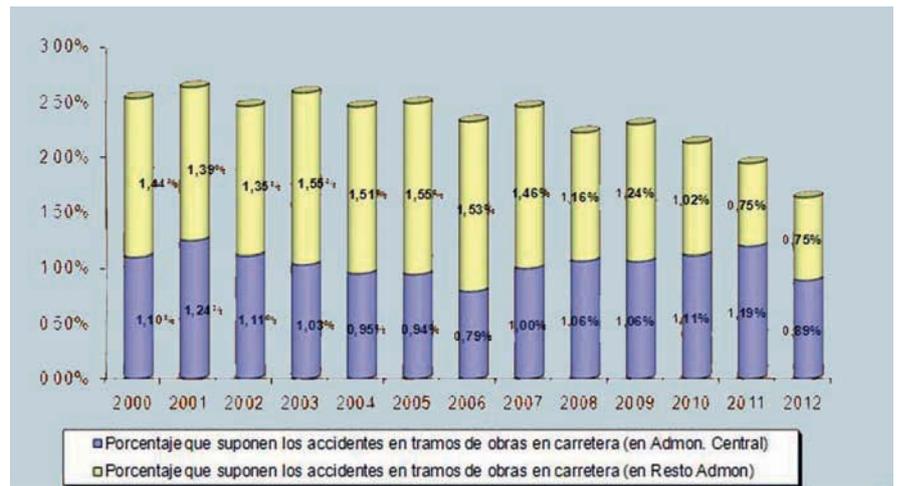


Figura 3. Accidentalidad media (accidentes con víctimas) en zonas de obra.

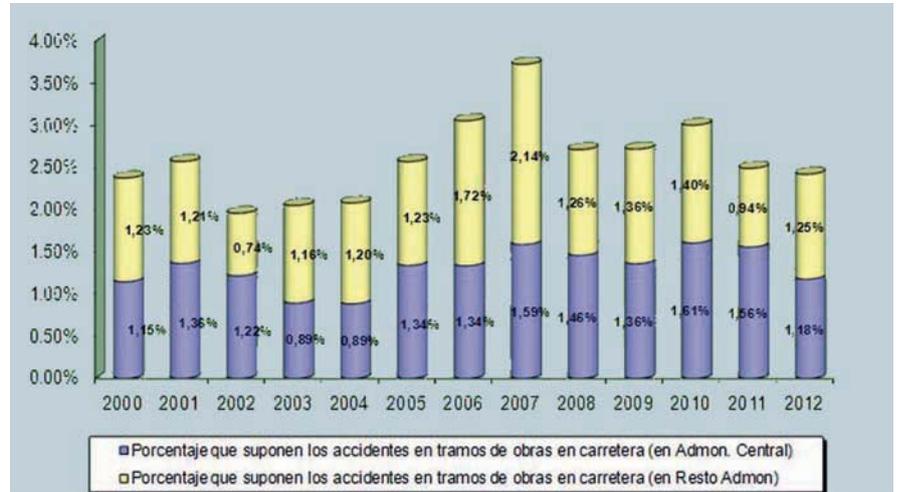


Figura 4. Número de muertes en zonas de obra, con relación al total de muertes en carretera.

administraciones a consecuencia de la crisis y recortes económicos experimentados en nuestro país, que han sido especialmente acusados en el sector de la obra pública.

Aquí podemos observar que aparece una primera diferencia con respecto al periodo 2000/2007, produciéndose un cambio de tendencia ya que mientras en la red de Carreteras de la Administración Central se sigue manteniendo un porcentaje similar (1,02-1,06)

en cuanto a número de accidentes en obras, se ha producido un descenso significativo en el número de accidentes con víctimas en el resto de redes (una tercera parte, al pasar de 1,47 a 0,98), posiblemente debido a que la disminución de las inversiones en carreteras han sido más acentuadas en este tipo de administraciones que en la Administración Central. Además el peso (porcentaje) que representan en las redes de dichas administraciones se invierte,

	2000/2007	2008/2012	2000/2012
En el total de la red de carreteras de España	2,49	2,05	2,32
En la red de carreteras de la Administración Central	1,02	1,06	1,04
En el resto de redes de las demás administraciones	1,47	0,98	1,28

	2000/2007	2008/2012	2000/2012
En el total de la red de carreteras de España	2,55	2,67	2,60
En la red de carreteras de la Administración Central	1,22	1,43	1,30
En el resto de redes de las demás administraciones	1,33	1,24	1,30

	2000/2007	2008/2012	2000/2012
Número de accidentes	40,84	52,38	45,28
Número de víctimas mortales	48,46	53,65	50,46

los accidentes en zona de obra representan un menor porcentaje, su mortalidad se incrementa en 2008/2012. Por tanto, menor accidentalidad pero con consecuencias más funestas.

Al igual que sucedía con relación al número de accidentes en zona de obra, en esta nueva etapa analizada (2008-2012) también se produce un cambio de tendencia, también en cuanto al número de fallecidos, incrementándose porcentualmente en la red de la Administración Central, siendo dicho porcentaje superior al del resto de administraciones mientras que entre 2000-2007 era menor. No obstante, debe reseñarse que en el último año (2012) este porcentaje en la RCE (1,18%) ha sido menor que en el resto de redes (1,25%) por lo que puede ser un indicio de una restauración a la situación de periodos anteriores, lo que deberá corroborarse en los próximos años.

La evolución anual de las víctimas mortales en obra a lo largo del conjunto del periodo 2000-2012, tanto para la red de Carreteras de la Administración Central como para el resto de redes de carreteras de las demás administraciones, con relación al porcentaje total de fallecidos en carretera, se puede ver en la Figura 4.

Así pues, con lo expuesto hasta ahora sobre la evolución de la accidentalidad en zona de obra en estos trece años, puede deducirse una necesidad de incrementar las medidas de seguridad en estas zonas, especialmente en cuanto a la disminución de la velocidad en ellas y prestar una mayor atención a la credibilidad de la señalización de obra que se dispone, para que sea más respetada por parte de los conductores. Por tanto, es una tarea y responsabilidad compartida, tanto por parte de quienes disponen la señalización como de los encargados del control y vigilancia para que se respete y, por supuesto, de los conductores para que adecuen su conducción, pues en definitiva son ellos quienes deben adoptar un comportamiento y velocidad adecuado a las circunstancias que se encuentran en la vía.

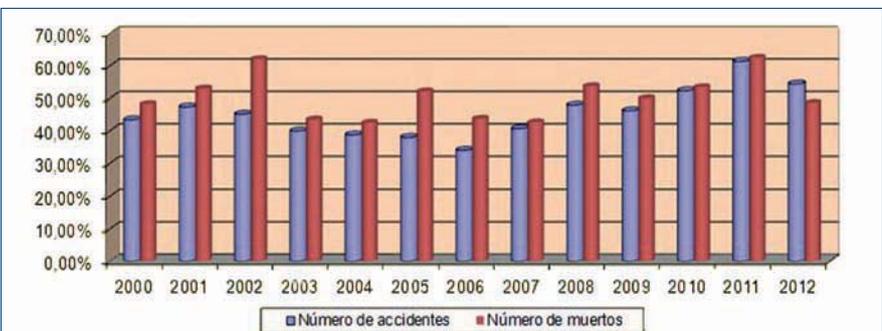


Figura 5. Porcentaje de accidentalidad en zonas de obra en la red de la Administración Central.

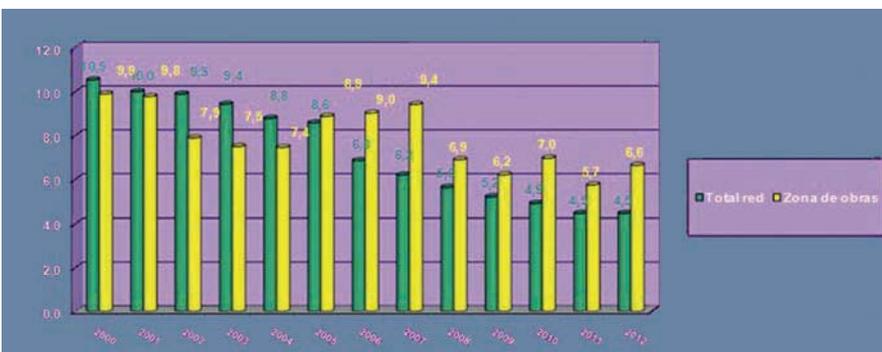


Figura 6. Evolución del índice de gravedad en el conjunto de la red y en la zona de obras.

siendo mayor en la Red de Carreteras del Estado (RCE) entre 2008/2012, circunstancia que no sucedía en la época pretérita. Esto puede verse justificado porque el mencionado descenso de la actividad de la obra civil ha sido más relevante en las Administraciones Regionales que en la Central.

La evolución anual de la accidentalidad en zonas de obras a lo largo del periodo 2000 a 2012, distinguiendo entre la red de Carreteras de la Administración Central y el resto de redes de carreteras de las demás administraciones,

con relación al porcentaje de número total de accidentes, se puede ver en la Figura 3.

De forma análoga, si realizamos este análisis atendiendo no ya al número de accidentes con víctimas sino al número de víctimas mortales habidas en estos accidentes en zonas de obra, observamos que el número de fallecidos en zona de obra representa un 2,55% del total de muertes en carretera en el periodo 2000/2007, elevándose dicho porcentaje a un 2,67% en el periodo 2008/2012. Es decir, pese a que



Figura 7. Distribución semanal de los accidentes con víctimas en zonas de obra.

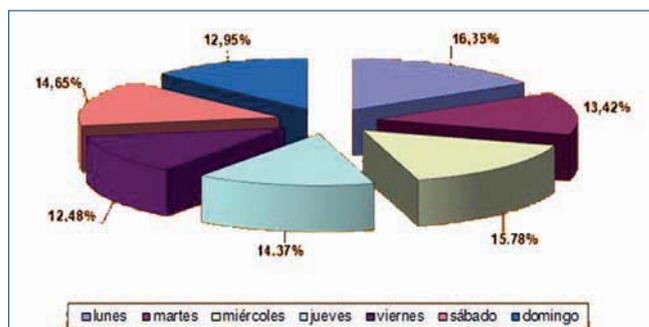


Figura 8. Distribución diaria semanal de víctimas mortales en zonas de obra.

Tabla 4. Distribución semanal de los accidentes con víctimas en zonas de obra.

Día	Accidentes con víctimas (%)	Víctimas mortales (%)
lunes	14,11	16,35
martes	14,76	13,42
miércoles	14,91	15,78
jueves	14,42	14,37
viernes	14,88	12,48
sábado	14,43	14,65
domingo	12,48	12,95

En cuanto al reparto de la accidentalidad en zona de obras entre las diferentes redes de carreteras españolas, reseñar que en la red de Carreteras de la Administración Central (RCE), en el periodo 2000/2007 tuvo lugar el 40,84% del total del número de accidentes con víctimas acaecidos en zonas de obra en España, y el 48,46% del total de fallecidos en este tipo de accidentes (en zonas de obra), mientras que en el periodo 2008/2012 estos porcentajes pasaron a representar el 52,38% y 53,65%, respectivamente. A este respecto hay que recordar que la RCE soporta más de la mitad del tráfico interurbano de nuestro país.

Estos datos no hacen sino reflejar lo ya comentado sobre el mayor "peso" que la red de la Administración Central soporta en este tipo de accidentes y la mayor actividad de obra y tráfico circulante.

A continuación, se analiza brevemente la evolución del índice de gravedad (número de muertos por cada 100 accidentes) en el conjunto de la red de carreteras españolas, tanto el general de la accidentalidad como el específico para accidentes en tramos de obras.

A lo largo del periodo 2000-2012 se observa (Figura 6) una evolución descendente constante del índice de gravedad general (víctimas mortales por cada 100 accidentes) en el conjunto de las carreteras españolas. No obstante, en el periodo 2008/2012 esta tendencia de decrecimiento para el conjunto de la red es más moderada que la experimentada en el periodo 2000/2007, al pasar de un índice de 10,5 en el año 2000 a 6,2 en 2007 y a 4,5 en 2012.

Sin embargo, analizando el índice de gravedad específicamente en zonas de obra se observa también una evolución favorable (descendente) en el conjunto del periodo 2000-2012, si bien no de forma continuada como sucedía con el índice para el conjunto de la accidentalidad sino con fluctuaciones anuales, siendo éstas más evidentes en el periodo 2008-2012. Así, en este último periodo se parte de un valor del índice de gravedad de 6,9 en 2008, llegando a 6,6 en 2012, experimentando variaciones anuales, sobre una media de 6,5, por encima y por debajo de ella según sean años pares o impares.

Hasta este momento hemos analizado la accidentalidad en zona de obra y su importancia con respecto a la accidentalidad total en la red de

carreteras, fuera de zona urbana. A continuación se pasa a analizar la incidencia de la distribución semanal en esta accidentalidad así como la tipología de los accidentes.

3. Distribución semanal de los accidentes con víctimas en zona de obras

Reseñar que en el periodo 2000/2012 se produce un descenso medio significativo del número total de accidentes en zona de obra pues se pasa de una media de 1.146 accidentes en zona de obra en el periodo 2000/2007, a 1.011 accidentes para el conjunto del periodo 2000/2012.

En la figura siguiente (Figura 7) se muestra la distribución de los accidentes en zona de obra durante el periodo 2000/2012 atendiendo al día de la semana en que se han producido. De ella se desprende un alto grado de homogeneidad en su distribución semanal, con un valor máximo del 14,91%, los miércoles, y el mínimo del 12,48%, los domingos.

Además, en los fines de semana el número de accidentes con víctimas en zona de obra tienen un valor medio ligeramente inferior al del resto de los días de la semana (13,60% los fines de semana, frente al 14,44% de los días laborales). Ello se debe, básicamente, a que el domingo es el día con menor porcentaje de accidentes de toda la semana, 12,48%, manteniéndose el sábado en la media de la accidentalidad de la semana, 14,43%.

Realizando un análisis análogo pero con el número de víctimas mortales producidas en accidentes en zona de

obra, se observa también un notable descenso desde el periodo 2000/2007 al 2008/2012, pues se pasa de 100 víctimas en el primero de ellos a tan solo 81 en el periodo 2000/2012.

Por otro lado, en relación con la distribución diaria semanal del número de fallecidos por accidentes en las zonas de obra, señalar que se mantienen las mismas características entre los periodos de estudio, siendo los lunes el día con mayor mortalidad, con un 16,35%, y el viernes el de menor mortalidad con un 1,48% de las víctimas mortales.

Además, en los fines de semana, pese a existir menor número de accidentes que el resto de días de la semana, se mantiene un número de muertos similar al del resto de la semana, lo que indica que la gravedad de los accidentes es mayor en fin de semana y/o que la ocupación de los vehículos accidentados es más elevada en estos días.

En este análisis de la accidentalidad en zona de obra en el periodo 2000/2012 se mantiene lo ya comentado en el estudio realizado para el periodo 2000/2007, en lo relativo a que en las zonas de obra no se mantiene los mismos parámetros que se obtienen para el conjunto de los accidentes con víctimas en las carreteras de España, en los que es durante el fin de semana cuando se registran más accidentes, siendo éstos además de más gravedad. Por el contrario, en zona de obras se producen menos accidentes durante el fin de semana pero estos son más graves que los ocurridos en el resto de los días de la semana.

4. Tipología de la accidentalidad en zona de obra

Se pasa a continuación a analizar la tipología de los accidentes con víctimas en zona de obra en el periodo 2000/2012.

El alcance de vehículos es el tipo de accidente más frecuente, representando el 15,09% del total, seguido por los accidentes frontolaterales de vehículos en marcha, con un 10,95%.

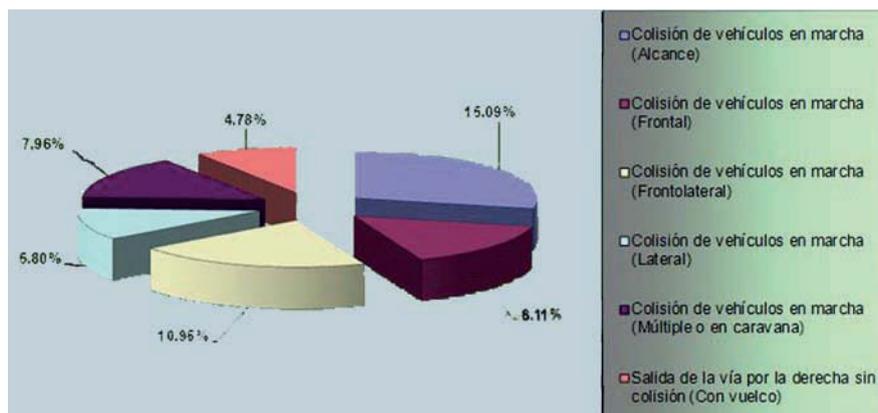


Figura 9. Distribución del número de accidentes en zona de obra por su tipología.

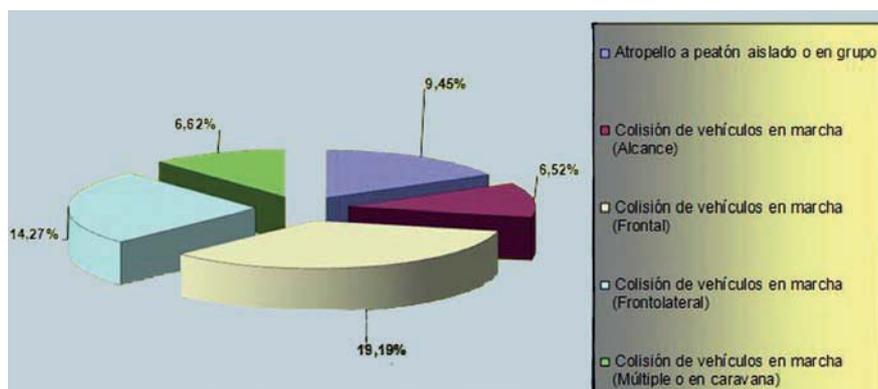


Figura 10. Distribución porcentual de muertes en accidentes en zonas de obra, según tipología del accidente.

Tabla 5. Distribución de accidentes y víctimas en zona de obra por su tipología. Periodo 2000 a 2012.

Tipo de accidente		Accidentes (%)	Víctimas mortales (%)
Colisión de vehículos en marcha	Alcance	15,09	6,52
	Frontal	8,11	19,19
	Frontolateral	10,95	14,27
	Lateral	5,80	-
	Múltiple o en caravana	7,96	6,62
Salida de la vía por la derecha sin colisión (con vuelco)		4,78	-
Atropello a peatón aislado o en grupo		-	9,45

Esta distribución es similar a la obtenida en el periodo 2000/2007, pero con un descenso significativo en el peso de estas tipologías (así se pasa de representar los alcances un 17,87% en 2000/2007 a un 15,09% en 2000/2012, y del 12,46% al 10,95% en los frontolaterales, respectivamente). Esto supone que mientras en el periodo 2000/2007 estos dos tipos de accidentes suponían el 30,33% del total de accidentes producidos, en el periodo 2000/2012 suponen el 26,04%.

Sin embargo, al igual que ya ocurría en el periodo 2000/2007 estos tipos de accidentes no son los que mayor porcentaje de fallecidos ocasionan

en el periodo completo de estudio 2000/2012. Y ello tanto en las carreteras de la Administración Central como en las pertenecientes al resto de las administraciones autonómicas y locales.

Así pues, los accidentes con víctimas más habituales en zona de obra son los alcances y las colisiones frontolaterales, como ya hemos comentado, seguidos por los choques frontales, las colisiones frontales múltiples, las colisiones laterales y las salidas de la vía con vuelco. Todos ellos representan algo más de la mitad (el 52,69%) del total de los accidentes en zonas de obras y algo más de la mitad (el 53,31%) de los fallecidos en los mismos.

Para estas seis tipologías analizadas se observa que al aumentar el periodo de estudio se incrementa la mortalidad en las mismas, pues con una menor frecuencia de ocurrencia (se pasa del 67,52% de incidencia de estas tipologías en 2000/2007 al 52,69% en 2000/2012), prácticamente se mantiene la incidencia de la mortalidad en ellas (se pasa del 55% al 53,31%).

Atendiendo al número de fallecidos, según la tipología de los accidentes con víctimas en zona de obra, se observa que la mayor incidencia se produce en las colisiones frontales (que ocasionan el 19,19% del total de víctimas mortales), como, por otra parte, era previsible dada la gravedad de este tipo de accidente. Le siguen las colisiones frontolaterales (14,27%) y ya a mayor distancia el resto de tipologías analizadas (individualmente suponen menos del 10% del total de fallecidos en zona de obra). Concretamente, los atropellos de peatones representan el 9,45%, porcentaje que es significativo, ya que al tratarse en zona de obra corresponden en gran medida a operarios que están trabajando; la colisiones múltiples o en caravana suponen el 6,62% y los alcances el 6,5%.

En conjunto, todos ellos representan el 47,54% del total de accidentes ocurridos en zonas de obras y suponen el 62,67% del número de fallecidos en este tipo de accidentes.

Del análisis más detallado de la tipología de los accidentes en zona de obra en función de la administración titular de las carreteras, diferenciando la Administración Central, no se encuentran diferencias significativas, salvo el hecho de existir una mayor dispersión en la tipología de los accidentes. Así los seis tipos de accidentes más frecuentes, que son los analizados, suponen el 52,69% del total de los accidentes en obra, mientras que en la Red de Carreteras del Estado sólo alcanzan el 45,56%.

Por el contrario, los accidentes que mayor número de fallecidos generan en el total de carreteras españolas, correspondientes a los cinco tipos de

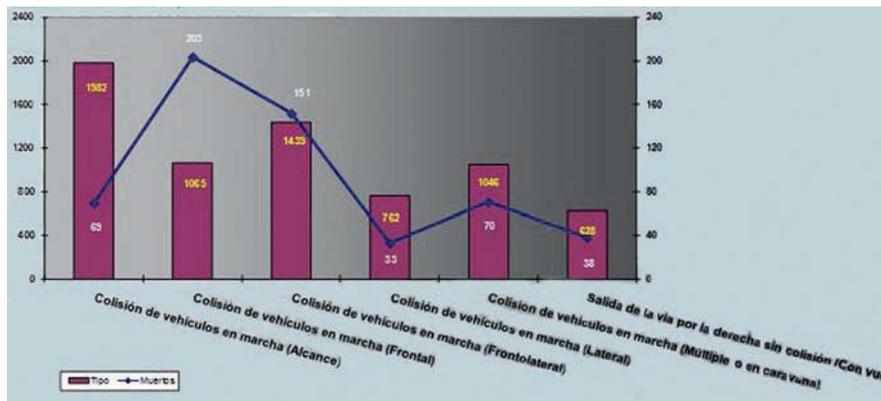


Figura 11. Total de accidentes y víctimas mortales por tipologías más frecuentes. Periodo 2000/2012.

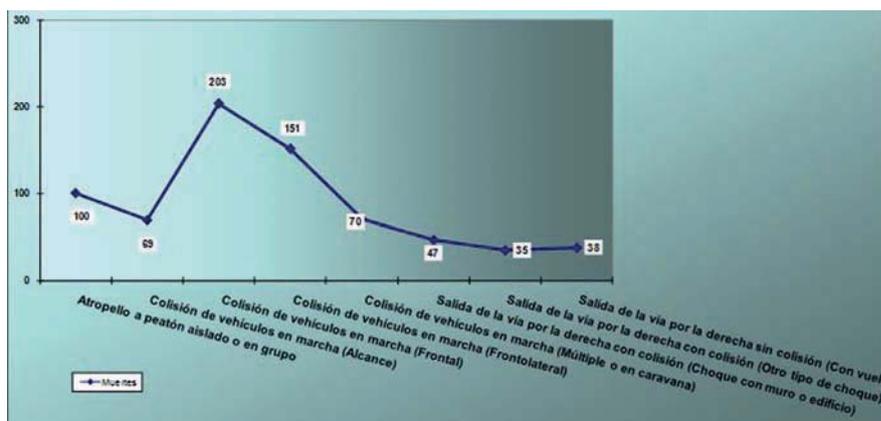


Figura 12. Total de muertes por tipologías más frecuentes. Periodo 2000 a 2012.

Tabla 6. Distribución de accidentes y víctimas en zona de obra por su tipología y tipo de red. Periodo 2000 a 2012.

Tipo de accidente		Accidentes (%)	Víctimas mortales (%)	
			Total de la red	Red de Carreteras del Estado
Colisión de vehículos en marcha	Alcance	1982	69	69
	Frontal	1065	203	203
	Frontolateral	1439	151	151
	Lateral	762	33	-
	Múltiple o en caravana	1046	70	70
Salida de la vía por la derecha sin colisión (con vuelco)		628	38	38
Salida de la vía por la derecha con colisión	Choque con muro o edificio	-	-	47
	Otro tipo de choque	-	-	35
Atropello a peatón aislado o en grupo		-	-	100

accidentes considerados, suponen el 56,05% del total de víctimas mortales en accidentes en zona de obra, mientras que en la RCE este porcentaje asciende hasta el 62,67%. Debe tenerse en cuenta la mayor velocidad de circulación en esta red dada, en general, su calidad y mejores prestaciones de la infraestructura en comparación con el resto de vías.

Los valores absolutos medios en el periodo considerado 2000/2012,

para las tipologías de accidentes con mayor índice de frecuencia y aquellas tipologías que generan mayor número de fallecidos, pueden verse en las Figuras 9 y 10 respectivamente.

De la observación de dichas figuras (distribución del número total de víctimas mortales y accidentes en zonas de obra según su tipología), se deduce que la gravedad de dichos accidentes no se corresponde exactamente con los accidentes más habituales,

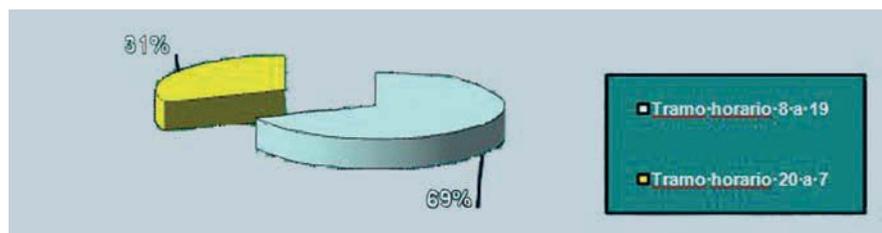


Figura 13. Distribución de la accidentalidad por tramo horario de los accidentes en zona de obra.

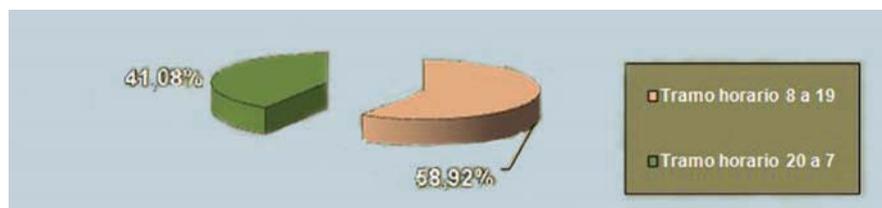


Figura 14. Distribución del número de muertes por tramo horario de los accidentes en zona de obra.

Tabla 7. Evolución del índice de gravedad en los periodos de análisis en el total de la red de carreteras.

	2000/2007	2008/2012	2000/2012
En horario diurno	7,6	5,6	7,0
En horario nocturno	11,4	9,8	10,9
Incremento nocturno/diurno	50%	75%	56%

apareciendo en este ranking de gravedad la tipología de atropello de peatones y alguna otra de salidas de la vía.

Del análisis de la distribución horaria de los accidentes con víctimas en zonas de obra para el periodo 2000/2012, resulta que el 31% de estos accidentes en España se producen entre las 20:00 h y las 8:00 h del día siguiente, porcentaje análogo al correspondiente al total de accidentes (no sólo los tramos de obras). En cambio, el porcentaje de víctimas mortales en accidentes de tráfico en tramos en obras durante el horario nocturno es del 41%.

Siendo el horario nocturno (entre las 20:00 h y las 8:00 h) el periodo del día con menor intensidad de tráfico se puede concluir que es, sin embargo, el más peligroso.

De hecho, para el periodo completo analizado 2000/2012, el índice de gravedad de los accidentes de tráfico nocturnos en los tramos de obra es un 56% superior al de los accidentes diurnos, al resultar un valor de 10,9 muertos por cada 100 accidentes durante la noche frente a 7,0 durante el día.

Esta mayor severidad de los accidentes nocturnos en zonas de obra frente a los diurnos ha sido aún más

acusada en el periodo 2008/2012 que en el 2000/2007, donde el incremento diferencial del índice de gravedad entre el horario nocturno y diurno ha sido de 25 puntos porcentuales, alcanzando un 75% de incremento total, tal como se muestra en la Tabla 7. En otras palabras, la disminución del número de accidentes y víctimas mortales en los tramos de zona de obra en el periodo 2008/2012 ha llevado consigo un notable incremento en la peligrosidad de los accidentes en horario nocturno.

5. Conclusión

Si bien la accidentalidad en zona de obras y su gravedad ha seguido una evolución positiva de disminución en estos años, en coherencia con la tendencia general de los accidentes de tráfico en España, este descenso ha sido algo menor en los últimos 5 años analizados (2008-2012) que en el periodo anterior (2000-2007), especialmente en cuanto a la gravedad. Además se ha evidenciado que en este periodo más reciente se ha producido un mayor incremento diferencial en la gravedad de los accidentes nocturnos frente a los diurnos en las zonas de obras.

Asimismo, sigue existiendo un porcentaje significativo de atropellos en las zonas de obras (casi un 10% de las víctimas mortales por accidentes en estas zonas), asociados en su mayoría a operarios que están trabajando, por lo que ha que extremar las medidas de seguridad en este ámbito.

Por todo ello, aumentar la vigilancia y control de la velocidad en los tramos de obra, reforzar los dispositivos de protección y visibilidad de los trabajadores y de la señalización así como incrementar la credibilidad de ésta junto con el favorecer y fomentar la adecuación de la conducción y comportamiento por parte de los conductores en estas zonas son campos en los que hay que seguir mejorando para conseguir evitar los accidentes en estas secciones y disminuir sus funestas consecuencias. Es una responsabilidad compartida por los diferentes agentes sociales involucrados, en la que los técnicos debemos o tenemos mucho que aportar.

6. Bibliografía:

- [1] MINISTERIO DEL INTERIOR (2000 a 2012). "Las principales cifras de siniestralidad vial en España". Dirección General de Tráfico.
- [2] MINISTERIO DEL INTERIOR (2000 a 2012). "Anuario estadístico de accidentes en España". Dirección General de Tráfico.
- [3] MINISTERIO DEL INTERIOR (2000 a 2012). "Anuario estadístico general en España". Dirección General de Tráfico.
- [4] MINISTERIO DE FOMENTO (2000 a 2012). "Anuarios estadísticos de accidentes en la Red de Carreteras del Estado". Dirección General de Carreteras.
- [5] MINISTERIO DE FOMENTO (2000 a 2012). "Estudios de accidentes en la Red de Carreteras del Estado". Dirección General de Carreteras.
- [6] MINISTERIO DE FOMENTO (2000 a 2012) "Análisis de la accidentalidad en la Red de Carreteras del Estado". Dirección General de Carreteras. ❖

Betún mejorado con caucho de NFU para mezclas de alto módulo

Vicente Pérez Mena
CEPSA-PROAS

Antonio García Siller
CEPSA-PROAS

M^a del Mar Colás Victoria
CEPSA-PROAS

Ignacio Pérez Barreno
CEPSA-PROAS

Miriam Sierra Pérez
CEPSA-PROAS

Con la colaboración del
Departamento de Caminos de la
Universidad Politécnica de Barcelona

1. Introducción

Los ligantes bituminosos que incorporan en su composición polvo de neumático fuera de uso (NFU), ya sean betunes mejorados o modificados con caucho, son ya una realidad en el mercado de ligantes asfálticos. Estos ligantes aúnan las ventajas técnicas que aporta el empleo del polvo de caucho al betún junto con las medioambientales derivadas de la eliminación de un residuo, que pasa a convertirse en una materia prima en la fabricación de estos ligantes para su uso en las mezclas asfálticas.

Hasta la fecha, los fabricantes de ligantes bituminosos han abordado el desarrollo de los betunes modificados con caucho que cumplen con las especificaciones recogidas en el artículo 212 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) y las recogidas en la norma UNE-EN 14023. Así mismo, se han desarrollado los betunes asfálticos mejorados con caucho procedente de NFU (BC 35/50 y BC 50/70) que cumplen las especificaciones recogidas en la OC 21/2007 del Ministerio de Fomento.

En este artículo se presenta el desarrollo de un nuevo ligante para su empleo en mezclas de alto módulo, no contemplado en las normativas anteriormente citadas. Se muestran tanto las propiedades empíricas y

reológicas como el comportamiento de las mezclas fabricadas con este betún mejorado con caucho de alto módulo (BC-AM).

En las mezclas de alto módulo son de destacar las limitaciones a su uso impuestas por la normativa vigente, como la limitación de espesores a fin de evitar problemas de fragilidad. El uso de estos betunes mejorados BC-AM pretende aportar los beneficios que supone la adición de NFU en los betunes mejorados, dando lugar a ligantes con propiedades superiores a los betunes convencionales y por tanto de las mezclas con ellos fabricadas, reduciendo así los problemas mencionados. Este nuevo ligante tiene prestaciones intermedias entre las de un betún de penetración 15/25 y uno modificado del tipo PMB 10/40-70.

Para la caracterización del ligante y su comportamiento, se ha realizado un extenso análisis reológico mediante el ensayo de barrido de deformaciones (EBADE) y reómetro dinámico de cizalla (DSR) comparando con un betún B 15/25 convencional. Las propiedades mecánicas de las mezclas de alto módulo (MAM) elaboradas con ambos tipo de ligante se han estudiado a través de ensayos de módulo, fatiga y EBADE.

2. La mezcla de alto módulo

El uso de ligantes de mayor consistencia permite la realización de mezclas de mayor rigidez, hasta el punto de permitirse incluso la reducción del espesor de la capa. Actualmente se permite una consideración

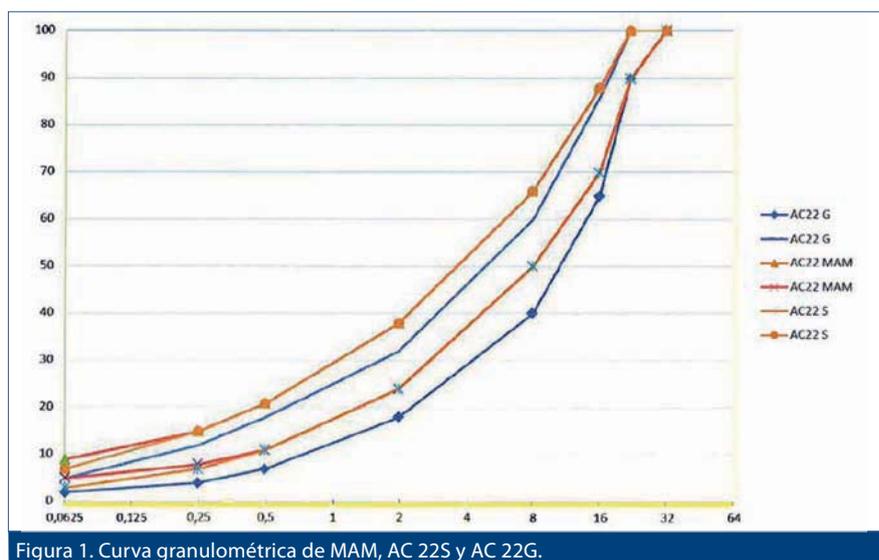


Figura 1. Curva granulométrica de MAM, AC 22S y AC 22G.

Tabla 1. Principales características de las mezclas de alto módulo.

Característica	Normativa	Especificación	Observaciones
Huso granulométrico	O.C. 24/2008. Artículo 542	Tamiz UNE %Pasa 32 100 22 90-100 16 70-88 8 50-66 4 2 24-38 0,5 11-21 0,25 8-15 0,063 5-9	Basado en el huso del AC22S modificado con más finos.
Contenido mínimo de ligante	O.C. 24/2008. Artículo 542	Capa intermedia.- 4,5 % s/m Capa de base.- 4,75 % s/m	
Espesor de capa	O.C. 24/2008. Artículo 542	Capa intermedia.- 6 cm mínimo Capa de base.- 13 cm máximo	
Relación polvo mineral/ligante	O.C. 24/2008. Artículo 542	1,2 a 1,3	Recomendable
Contenido de huecos en mezcla (UNE-EN 12697-8)	O.C. 24/2008. Artículo 542	4 a 6 %	Por contenido de ligante y finos suelen estar en el límite inferior
Resistencia a la deformación permanente (UNE-EN 12697-22)	O.C. 24/2008. Artículo 542	Pendiente de deformación máxima de 0,07 o 0,1 en función de la zona térmica y de la capa.	No suele haber problemas con las deformaciones.
Sensibilidad al agua (UNE-EN 12697-12)	O.C. 24/2008. Artículo 542	80 % mínimo	No suele haber problemas
Módulo dinámico a 20 °C (UNE-EN 12697-26 Anexo C)	O.C. 24/2008. Artículo 542	Mínimo 11.000 MPa	
Resistencia a fatiga a 20 °C y 30 Hz (UNE-EN 12697-24 Anexo D)	O.C. 24/2008. Artículo 542	Valor mínimo para la deformación a un millón de ciclos de 100 micro-deformaciones	

de resistencia para este tipo de mezclas de 1,25 respecto a una mezcla convencional. Los ligantes empleados para fabricar este tipo de mezclas suelen ser B15/25.

Estas mezclas han de fabricarse con contenidos altos de ligante (alrededor del 5,3% y con un mínimo de 4,5% en intermedia y 4,75% en base) para evitar los problemas de fragilidad antes comentados, con un contenido de huecos en mezcla de entre 4 y 6 %. La curva granulométrica resulta de la modificación de la mezcla tipo semidensa, aumentando ligeramente el contenido de filler para permitir ese aumento relativo de betún.

Además de los requisitos exigidos a las mezclas asfálticas convencionales, a las mezclas de alto módulo se les añade el requerimiento de un módulo dinámico a 20° C, según la norma UNE-EN 12697-26, anexo C, mayor o igual a 11.000 MPa, con probetas compactadas según UNE-EN 12697-30 aplicando 75 golpes por cara.

También es necesario que en el ensayo de resistencia a fatiga con una frecuencia de 30 Hz y una temperatura de 20° C, según norma UNE-EN-12697-24, anexo D, un valor de deformación para un millón de ciclos igual o superior a 100 microdeformaciones.

Igualmente, la normativa define un espesor mínimo de 6 cm y máximo de 13 cm, para evitar la rotura frágil de estas capas de firme, el enfriamiento rápido en la puesta en obra (al utilizar betunes más viscosos este aspecto resulta muy importante en la compactación) y problemas de soporte en plataformas no suficientemente resistentes.

3. El betún mejorado con caucho de alto modulo (BC 20/30)

Considerando las mejoras reológicas que aporta el NFU en los betunes mejorados con caucho, se ha

formulado un ligante de penetración entre 20 y 30 décimas de milímetro, comparándolo con un betún de alto módulo convencional.

Como se muestra en la Tabla 2 el BC 20/30 tiene penetración similar y un punto de reblandecimiento algo superior al de un betún duro del tipo 15/25 y cumple perfectamente con las características requeridas de estabilidad al almacenamiento.

También destaca la recuperación elástica, realizada en este caso mediante el ensayo en ductilómetro (método del medio hilo), superior al 50%.

Se realizaron ensayos con el reómetro de corte directo a fin de comparar más profundamente el comportamiento reológico de ambos ligantes. En el diagrama de Black (Figura 2) puede verse la tendencia lineal del betún convencional B 15/25, mientras que el BC 20/30 presenta un comportamiento más parecido al de un betún modificado, con un comportamiento más elástico en todo el

Tabla 2. Características de los ligantes BC 20/30 y B 15/25.

Características	Unidad	Método de ensayo UNE-EN	BC 20/30	B 15/25
Betún original:				
* Penetración (25 °C; 100 g; 5 s)	0,1 mm	1426	24	21
* Punto de reblandecimiento (A&B)	°C	1427	64,4	62,3
* Índice de penetración (IP)	-	12591 anexo A	0,2	-0,4
* Estabilidad al almacenamiento		13399		
- Diferencia punto reblandecimiento	°C	1427	2,4	-
- Diferencia penetración (25 °C)	0,1 mm	1426	6	-
* Recuperación elástica (25 °C; torsión)	%	13398	51	-

rango de medidas. Así, para valores similares de consistencia, los ángulos de desfase entre aplicación de carga y respuesta del material son bastante menores con lo cual la respuesta esperada del BC 20/30 resulta, como decimos, de material más elástico y, en consecuencia, adecuado.

Esto se confirma en la curva isócrona (Figura 3) en la que se puede apreciar el comportamiento con respecto a la temperatura bajo la frecuencia de 1,59 Hz tomada como referencia: las propiedades viscoelásticas del BC 20/30 son notablemente mejores que las del betún asfáltico B 15/25, sobre todo en cuanto a ángulo de fase, que es mucho más bajo (ligante más elástico), en todo el rango de temperaturas.

Asimismo, cabe esperar una menor susceptibilidad térmica del BC 20/30 frente a la del betún convencional: a temperaturas intermedias de servicio los valores de G^* son menores que

los del betún convencional (menor rigidez), mientras que para altas temperaturas de servicio los valores de G^* son más altos, lo que se traduce en una menor deformabilidad.

Todo ello hace prever que el BC 20/30 aporte un mejor comportamiento en mezcla frente a fatiga y deformaciones plásticas que el que aportaría el betún duro convencional.

Mezcla de alto módulo con BC-AM (BC20/30)

A modo de muestra, en la Tabla 4 se presentan resultados de ensayos de laboratorio realizados durante el diseño de este ligante, cuyas propiedades se indican en la Tabla 3:

Y utilizando la curva granulométrica mostrada (árido silíceo y filler calizo), se consiguieron de media los siguientes valores en ensayos de módulo de rigidez a tracción indirecta (Figura 4).

Tabla 3.

Penetración UNE 1426 (0,1mm):	25
Punto de reblandecimiento UNE 1427 (°C)	67,2
Viscosidad Brookfield mPa·s:	135 °C 3.550
	150 °C 1.247
	175 °C 392

4. Resultados ensayo EBADE

Para caracterizar comparativamente el comportamiento de este ligante frente a cargas repetitivas, se realizó un análisis del mismo mediante ensayo EBADE, donde se ha sometido a un barrido de deformaciones a distintas temperaturas. Se incluyeron, a fin de contrastar los resultados, ensayos similares para un betún convencional B 15/25.

Los resultados obtenidos se recogen a continuación en las Figuras 5 a 15:

Análisis de tensiones

Analizando las tensiones alcanzadas por cada ligante a lo largo de los ciclos, vemos como el betún convencional presenta tensiones mayores seguido, con diferencias menores a mayores niveles de deformación, por el betún BC 20/30. Cabe destacar sobre todo la rotura en torno a los 50.000 ciclos del ligante convencional, con una caída brusca de la tensión admisible mientras que el BC 20/30 presenta una mayor resistencia.

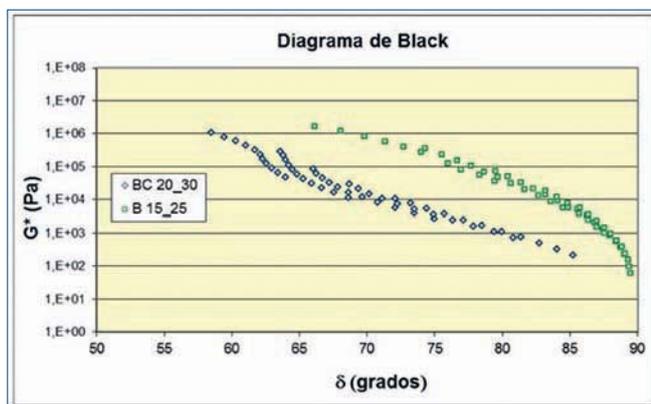


Figura 2. Diagrama de Black de los ligantes BC 20/30 y B 15/25 en estado original.

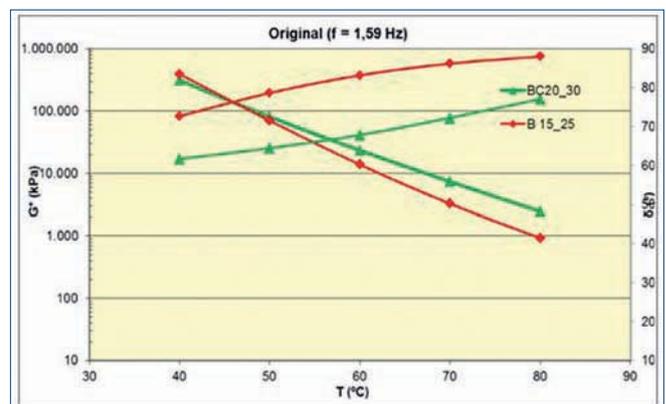


Figura 3. Representación isócrona de los ligantes BC 20/30 y B 15/25 en estado original.

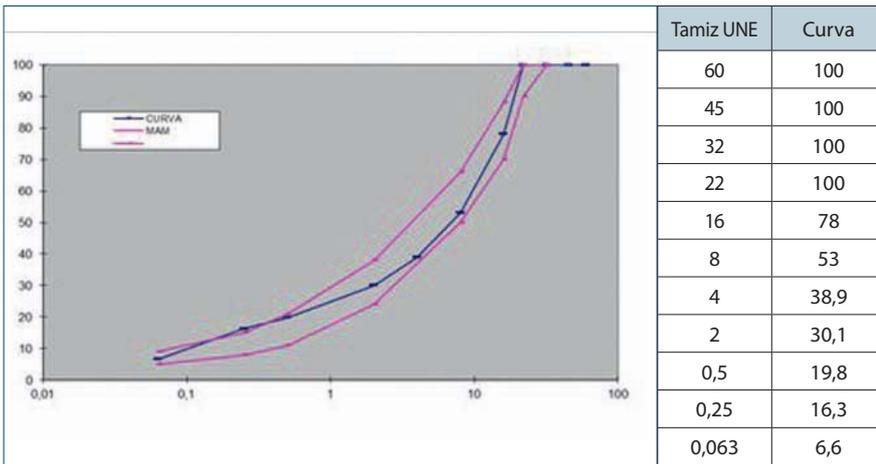


Figura 4. Granulometría de la mezcla empleada en ensayos de laboratorio.

Tabla 4.

Probeta	Densidad geométrica (g/cm ³)	Densidad sss (g/cm ³)	Módulo dinámico UNE-EN 12697-26 (MPa)
1	2,353	2,375	12.078
2	2,314	2,372	11.204
Media	2,334	2,374	11.640

Esa diferencia de comportamiento entre el B 15/25 y BC 20/30 se aprecia también a bajas temperaturas (Figuras 6 y 7).

Tanto a 3°C como a -5°C, se observa que, conforme aumenta la rigidización del material, se alcanzan lógicamente picos de tensión mayores en todos los ligantes.

Para todas las temperaturas ensayadas se comprueba la modificación real producida por el polvo de caucho en el comportamiento del ligante BC 20/30, que ofrece resistencia durante mayor número de ciclos, en comparación con el B 15/25.

Análisis de módulos de rigidez

Los módulos medidos durante el ensayo EBADE muestran al betún convencional B 15/25 como el más rígido, alcanzando valores mayores. Esto normalmente implicaría, en condiciones similares de una mezcla asfáltica, módulos de rigidez de ésta más elevados. Sin embargo, vemos como la resistencia a largo plazo se ve mermada por una menor ductilidad de este betún. La caída de módulo al final del ensayo hace inferir una rotura tipo frágil.

No es este el caso del betún BC 20/30. Su módulo evoluciona

formando una curva menos tendida (menor susceptibilidad), sin rotura brusca y con capacidad de aguantar mayor número de ciclos.

El comportamiento a temperaturas más bajas, y por tanto más críticas en cuanto a rigidización y fatiga se aprecia en las Figuras 9 y 10.

De nuevo, el comportamiento del betún convencional es el esperado: más rígido pero también bastante más frágil que el betún mejorado con caucho y modificado con polímero.

Energías de deformación

La energía de deformación es uno de los parámetros más interesantes de este ensayo [1]. La energía disipada es normalmente mayor conforme aumenta la temperatura, aunque el módulo y tensiones alcanzadas son menores. Energías disipadas mayores implican mayor tenacidad del ligante y, por tanto, de las mezclas fabricadas con ellos: se disipará más energía en el proceso de fallo. De forma equivalente, serían necesarios más ciclos de carga (paso de vehículos) para que se produzca el fallo. Es un factor que afecta también, por ejemplo, a la velocidad de propagación de fisuras en las capas del firme.

En nuestra comparación entre ligantes, suponiendo de base que alcanzamos con los dos las prescripciones de las mezclas de alto módulo (módulos y tensiones del ligante suficientemente altos), se esperará *a priori* mejor comportamiento a fatiga en aquel ligante que presente mayores energías de deformación.

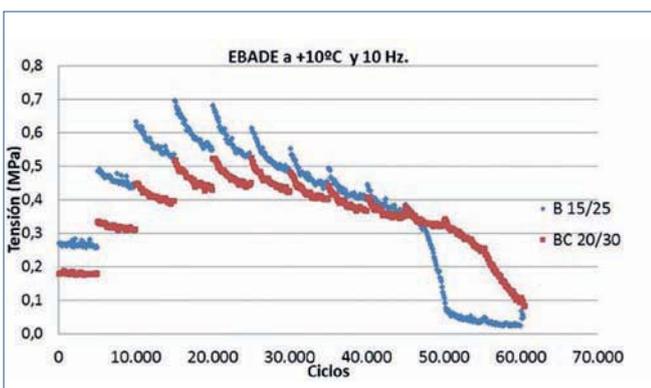


Figura 5. Resultados del ensayo EBADE a 10 °C.

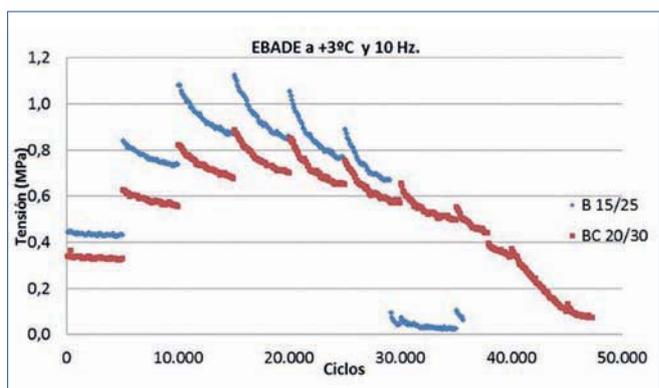


Figura 6. Resultados del ensayo EBADE a 3 °C.

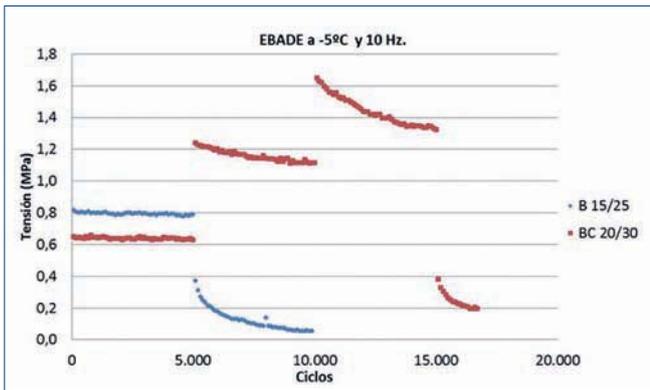


Figura 7. Resultados del ensayo EBADE a -5 °C.

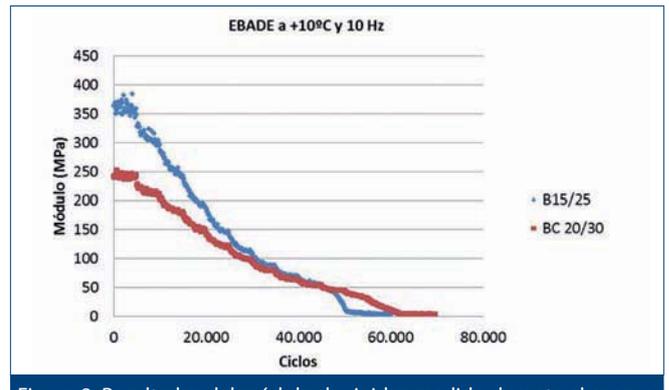


Figura 8. Resultados del módulo de rigidez medido durante el ensayo EBADE a 10 °C.

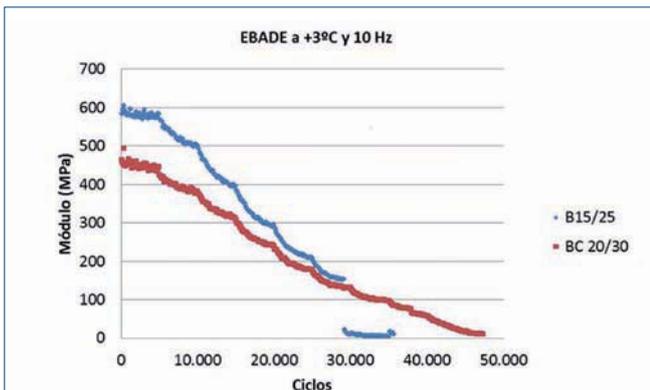


Figura 9. Resultados del módulo de rigidez medido durante el ensayo EBADE a 3 °C.

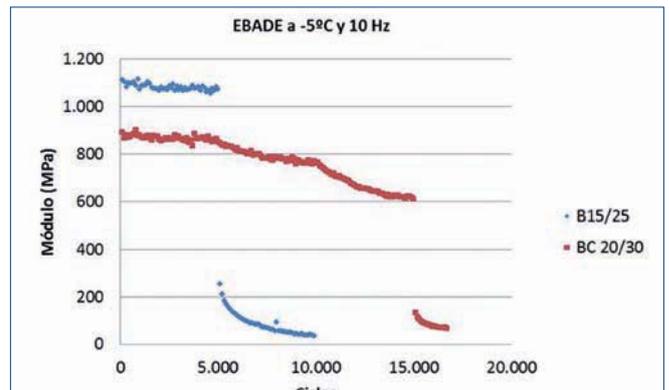


Figura 10. Resultados del módulo de rigidez medido durante el ensayo EBADE a -5 °C.

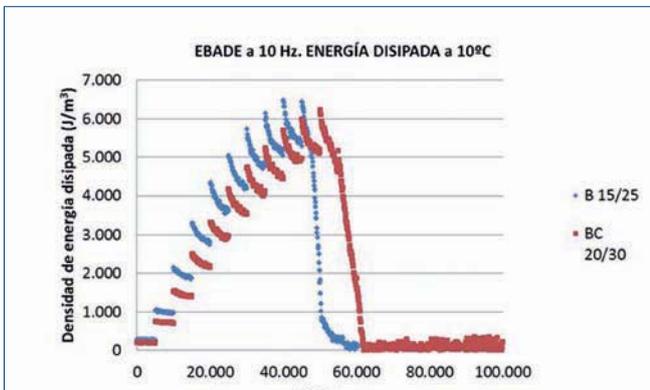


Figura 11. Energía disipada. Ensayo EBADE a 10 °C.

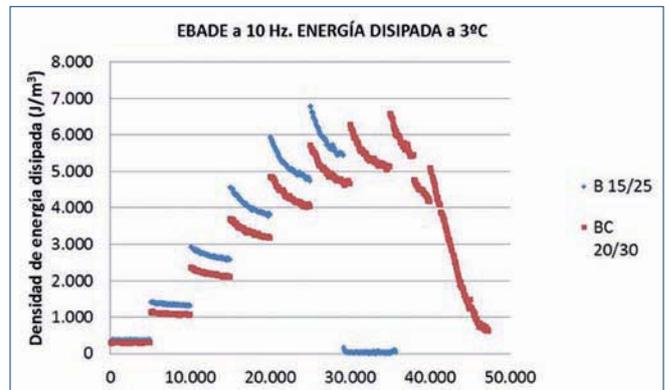


Figura 12. Energía disipada. Ensayo EBADE a 3 °C.

Como vemos en las Figuras 11 a 13, para todas las temperaturas estudiadas, la superficie bajo la curva de energía disipada es mayor en el betún de alto módulo con caucho que en el betún convencional, mostrando pues un mejor comportamiento.

Es interesante destacar las diferencias encontradas en función de la temperatura de ensayo, especialmente en el comportamiento del B 15/25 que se fragiliza de una forma mucho

más drástica que el betún mejorado con caucho BC 20/30. A -5°C este último es capaz de mantener cierta tenacidad hasta en tres niveles de deformación muy por encima del B15/25.

En todos los casos, el BC 20/30 demuestra una tenacidad que sin duda mejoraría las prestaciones de las mezclas de alto módulo fabricadas con el, sobre todo en comparación con el B 15/25 al que sustituiría en sus posibles aplicaciones.

Las gráficas de densidad de energía disipada muestran también cómo con deformaciones bajas la energía se mantiene constante. Es destacable que los dos ligantes muestran prácticamente el mismo resultado en el primer ciclo de carga, es decir, no se observa deterioro del material. Se empiezan a ver diferencias al aumentar la deformación en los siguientes ciclos de carga, mostrándose así los niveles de deformación de cada ligante a partir del cual se

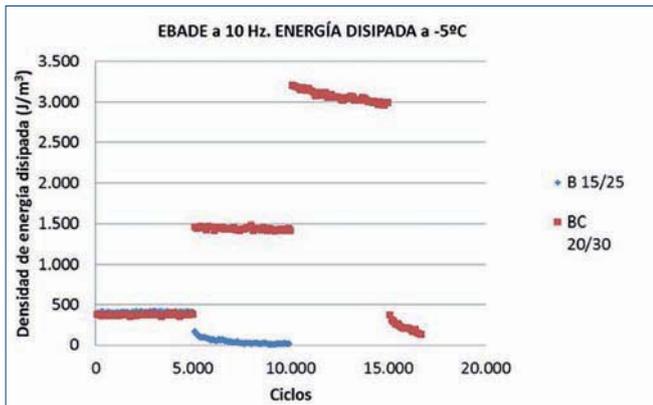


Figura 13. Energía disipada. Ensayo EBADE a -5°C.

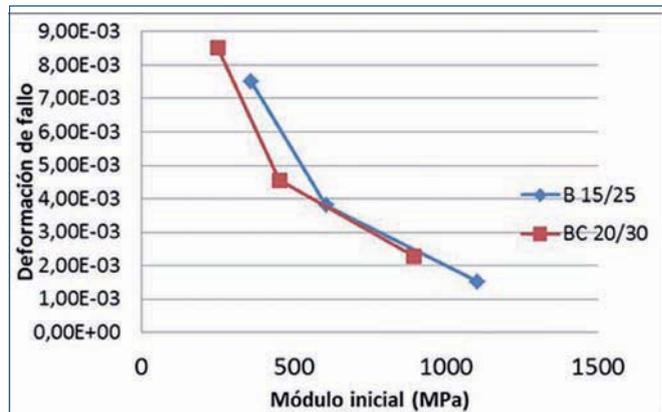


Figura 14. Módulo inicial frente a deformación de fallo a 10°, 3° y -5°C.

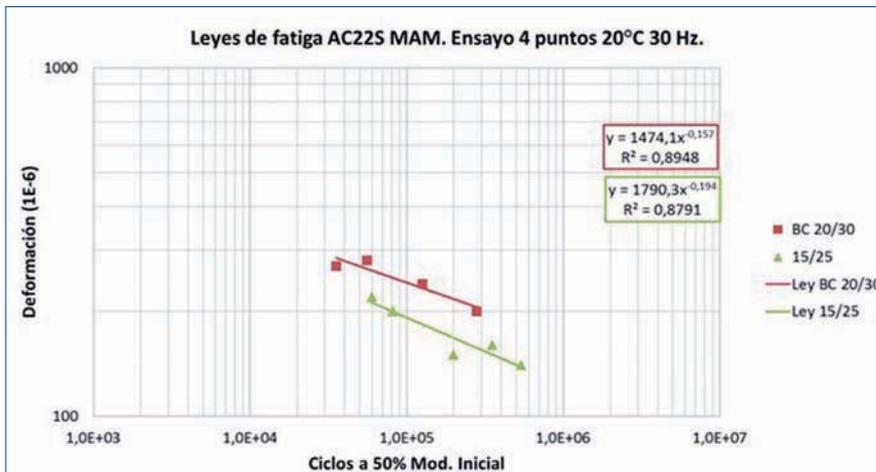


Figura 15. Comparación de las leyes de fatiga de un MAM con ligante BC 20/30 y B15/25.

- De estas mejoras destacan la menor susceptibilidad térmica, la mayor elasticidad del material y un comportamiento más tenaz, que se traduce en mezclas menos frágiles y más resistentes a fatiga.
- Una vez confirmada la mejora en fatiga de estas mezclas, un siguiente paso será analizar si sería posible la optimización de las secciones de firme de alto módulo especificadas en el pliego, aprovechando las ventajas que puede aportar el uso del ligante BC 20/30.

detecta fallo. Por un lado, comentar que los niveles aumentan lógicamente con la temperatura y la rigidez del material, y por otro destacar como el betún B 15/25 empieza a sufrir daño mucho antes que el BC 20/30.

En general podemos decir que, si bien el betún convencional B15/25 es capaz de proporcionar mayores valores de módulo de rigidez a la mezcla asfáltica, su susceptibilidad térmica y rigidización es más acentuada, produciéndose la rotura frágil del material en menor número de ciclos. De ahí también que sus deformaciones de rotura sean claramente inferiores, (Figura 4). Para una misma temperatura, la resistencia a fatiga del betún mejorado con caucho BC 20/30 se estima mejor que la del betún convencional B15/25, resultando lo mismo en las mezclas de alto módulo con ellos fabricadas, toda vez que con ambos se alcanzan las prescripciones de este tipo de mezclas.

Ensayo de fatiga

Con objeto de confirmar el comportamiento del ligante BC 20/30, se han realizado ensayos de fatiga en mezclas de alto módulo fabricadas con este betún, así como con betún 15/25 convencional. Los resultados, resumidos a continuación con sendas rectas de fatiga, confirman el mejor comportamiento del ligante con caucho, con una ley de fatiga situada por encima de la del B15/25 y con menor pendiente.

5. Conclusiones

Tras la realización del trabajo realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La aportación del polvo de neumático fuera de uso para la obtención de betunes de alto módulo (BC 20/30) aporta mejoras significativas en estos ligantes frente al betún convencional B15/25.

Agradecer a los técnicos de la Universidad Politécnica de Barcelona, Félix Pérez, Rodrigo Miró y Ramón Botella, su colaboración en la realización de estos trabajos.

6. Bibliografía

- [1] FÉLIX E. PÉREZ JIMÉNEZ, RODRIGO MIRÓ RECASENS, ADRIANA MARTÍNEZ, RAMÓN BOTELLA NIETO, GONZALO A. VALDES VIDAL, (2011). "Estado de la resistencia a la fisuración de las mezclas bituminosas. Ensayos Fénix y EBADE". Revista Asfalto y Pavimentación, volumen 1, segundo trimestre de 2011
- [2] M^a DEL MAR COLÁS VICTORIA, VICENTE PÉREZ MENA, (2013). "Reología de los betunes con caucho". Revista Carreteras, especial CILA 2013, número extraordinario CILA, noviembre de 2013. ❖

Manta anti-fisuras. Desarrollo de un sistema anti-reflexión de fisuras para firmes de carretera a partir de capas deconstruidas de neumáticos usados

Fernando M. Moreno Navarro
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Resumen

La fisuración por fatiga es una de las patologías más comunes en las carreteras de todo el mundo. El desarrollo de nuevas técnicas y productos que permitan minimizar el efecto causado por este fenómeno es fundamental para reducir el gasto económico en la conservación y rehabilitación de firmes, así como para disminuir el consumo de los recursos naturales empleados en la construcción de carreteras y garantizar la seguridad vial. Debido a este hecho, desde esta investigación se ha llevado a cabo el desarrollo a nivel de laboratorio de un nuevo sistema que permite retardar la aparición de fisuras superficiales en los firmes, así como minimizar el daño causado por esta patología (manta anti-fisuras). Dicho sistema ha sido fabricado a partir de las capas deconstruidas de neumáticos usados y se aplica, en forma de solución anti-reflexión de fisuras, situado entre las capas del firme.

Su empleo ofrece gran versatilidad puesto que puede utilizarse tanto en firmes de nueva construcción (permitiendo retardar la aparición de fisuras así como su reflexión en rodadura), como en la rehabilitación de pavimentos agotados (aplicado sobre la capa de rodadura dañada y extendiendo sobre la manta anti-fisuras una nueva capa de rodadura). Además, su aplicación es útil tanto en vías urbanas, aparcamientos, etc. (reduciendo la entrada de agua al pavimento, evitando así la

aparición de baches que son la principal causa de rehabilitación), como en vías de mayor capacidad tipo carreteras y autovías (en las que además de retardar la aparición de fisuras, permite actuar como capa de impermeabilización del firme).

Por otra parte, se trata de un producto socialmente competitivo dado que es fabricado a partir de uno de los residuos de mayor problemática ambiental: los neumáticos usados. En este sentido, su puesta en valor a través de la manta anti-fisuras resulta interesante puesto que permite una aplicación más sencilla y económica (reutilizando las capas del neumático directamente, sin necesidad de incurrir en procesos de trituración que consuman tiempo y recursos económicos), la reutilización de una gran cantidad de unidades (puesto que la superficie a cubrir es grande), y además permite valorizar los componentes del neumático que menos interés han tenido hasta la fecha en materia de reciclaje (las fibras textiles y la capa metálica). Finalmente, se puede afirmar que la aplicación de los neumáticos usados en forma de capas deconstruidas sin triturar supone también una ventaja técnica puesto que permite la valorización de estos materiales utilizando la elevada carga tecnológica que poseen para resistir los esfuerzos generados en la rodadura del neumático (alta resistencia mecánica, elasticidad, baja degradabilidad, resistencia a los agentes ambientales, etc.).

El presente artículo es una síntesis de los trabajos de investigación llevados a cabo para la concepción de este sistema anti-reflexión de fisuras para firmes de carretera.

1. Antecedentes

En la actualidad nadie puede poner en duda la importancia que han tenido las carreteras en la evolución de nuestra sociedad. El hecho de dotar de accesibilidad al territorio, así como de posibilitar el flujo de personas y mercancías, ha contribuido de manera directa con el nivel de desarrollo alcanzado hoy en día. A pesar de ello, esta importancia tiene asociado un efecto de dependencia que implica que las carreteras tengan que atender un nivel de usuarios muy elevado, debiendo mostrar siempre condiciones óptimas que permitan garantizar una rodadura cómoda y sobre todo, segura. En este sentido, dicha dependencia se ve traducida en una elevada inversión económica, tanto en carreteras de nueva construcción, como en el mantenimiento de las existentes. Por ello, los esfuerzos llevados a cabo en los últimos años están siendo encaminados hacia el desarrollo de nuevos tipos de firmes de larga duración que impliquen una reducción en el consumo de recursos (económicos, energéticos, naturales, etc.) y que disminuyan la necesidad de actividades de conservación, así como de soluciones técnicas y

productos que permitan minimizar el impacto causado por las principales patologías que afectan a estas infraestructuras.

De entre el conjunto de las patologías sufridas por los firmes de carretera, una de las más comunes a nivel mundial, y una de las principales causantes del fin de su vida de servicio, es la fisuración. La aparición de este fenómeno puede tener consecuencias nefastas para la carretera a medio-largo plazo (Colombier, 1997), tanto desde el punto de vista estructural (además de provocar una mala transferencia de cargas que desemboque en problemas de deformaciones y punzonamientos, las fisuras permiten la entrada de agua y otros agentes químicos que ocasionan deterioros tales como baches, peladuras, lavado de finos, disminución de la capacidad portante, etc., que terminan agotando su vida de servicio), como desde el punto de vista de la seguridad y el *confort* (aumenta las irregularidades del firme dificultando la conducción, aumentando el nivel de ruido y disminuyendo el rozamiento con el neumático). Debido a este hecho, retardar y paliar los efectos causados por este fenómeno se ha convertido en una de las prioridades de la I+D+i en el ámbito de la ingeniería de carreteras.

Este aspecto, unido a la situación económica actual y la inherente necesidad de reducir los recursos materiales y económicos invertidos en infraestructuras, han fomentado la aparición de nuevas técnicas y productos que permitan la construcción de pavimentos de carreteras más resistentes ante la propagación de fisuras, así como de soluciones de rehabilitación más efectivas. En este sentido, desde una investigación realizada en el Laboratorio de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Granada (LabIC.UGR), se ha llevado a cabo el desarrollo de un nuevo sistema anti-reflexión de fisuras que permite retardar y minimizar el daño causado por esta patología en firmes de carretera. Dicho sistema está fabricado

a partir de capas deconstruidas de neumáticos usados, las cuales son colocadas en la zona inter-capas del pavimento formando una manta que disminuye y retarda la aparición de fisuras en la carretera. Esta solución puede ser empleada tanto en carreteras de nueva construcción (situando la manta anti-fisuras entre la capa intermedia y la de rodadura), como en la rehabilitación de firmes con el pavimento deteriorado (en la que la manta se aplica sobre la superficie dañada con un riego de adherencia, y sobre ésta se extiende una capa fina que facilite la rodadura). Además, su aplicación puede ser útil tanto en vías urbanas, aparcamientos, etc., como en vías de mayor capacidad tipo carreteras y autovías, así como en aeropuertos, debido a su capacidad de absorber impactos gracias a las propiedades resilientes del caucho.

Actualmente existen numerosas aplicaciones para la puesta en valor de los neumáticos usados, entre las que destacan el relleno de césped artificial, la construcción de parques infantiles, pistas deportivas, barreras acústicas, pistas drenantes, etc. (Caltrans, 2005). En ingeniería civil son también conocidas sus aplicaciones en el sector ferroviario, pero sobre todo en el ámbito de las carreteras donde destaca su empleo en la fabricación de mezclas bituminosas para la mejora de sus propiedades mecánicas (CEDEX, 2007; Ruiz, 2010). A pesar de ello, la mayoría de estas aplicaciones son realizadas tras un proceso de trituración del neumático en el que además de incurrir en un coste económico, se pierden gran parte de las propiedades mecánicas de las que están dotados estos productos, alta resistencia mecánica, elasticidad, baja degradabilidad, resistencia a los agentes ambientales, propiedades termoestables, etc. Por otro lado, a la hora de llevar a cabo la valorización de neumáticos usados, la mayor parte de las aplicaciones se centran en la reutilización de la parte compuesta mayoritariamente por caucho,

existiendo pocas aplicaciones focalizadas en la puesta en valor de la parte textil y metálica del neumático, las cuales una vez separadas del caucho, vuelven a convertirse en un desecho.

En este sentido, la investigación llevada a cabo representa un importante paso en la reutilización de este residuo, puesto que permite su aplicación sin necesidad de triturarlo, reutilizando directamente las capas deconstruidas del neumático. De esta manera, además de disminuir en los gastos de valorización del material, puesto que no hay que llevar a cabo ningún tratamiento mecánico, pueden aprovecharse las propiedades mecánicas ofrecidas por él, así como reutilizar las capas resistentes del mismo, compuestas por fibras textiles y metálicas, que son las que menor aplicación tienen. Además, dado que su empleo se realiza sobre una superficie considerablemente grande, el consumo de este residuo elimina la problemática ambiental de su depósito en vertederos. Además de estos aspectos, el desarrollo de este sistema supone también un importante paso en materia de conservación de firmes, puesto que la aplicación de este sistema sostenible permitirá alargar la vida de servicio de los pavimentos y, por tanto, reducir la inversión económica y de recursos naturales destinados a estas infraestructuras, contribuyendo al desarrollo de carreteras más eficientes.

En este contexto, la investigación aquí presentada supone por tanto un gran reto tecnológico para la ingeniería de carreteras, puesto que su futura aplicación podría reportar numerosos beneficios económicos, ambientales y sociales. Así, el objetivo principal de la misma ha sido desarrollar una solución eficiente, sostenible y económica, contra el fenómeno de fisuración por fatiga en pavimentos: manta anti-fisuras. En este artículo se presentan los resultados obtenidos en la fase experimental del sistema anti-reflexión de fisuras, incluyendo los de su validación a nivel de laboratorio.

2. Sistema “manta anti-fisuras”

2.1. Consideraciones previas

Los sistemas anti-reflexión de fisuras empleados en toda la superficie del pavimento son conocidos como técnicas de interposición generalizada. El principio de actuación utilizado en los mismos consiste en interponer un obstáculo que impida la propagación de las fisuras hacia la superficie. El modo principal de actuación de las capas anti-reflexión de fisuras es la creación de un mecanismo que permita disipar las tensiones generadas por los gradientes térmicos y el paso del tráfico. Así, estos materiales deben ser capaces de absorber o atenuar los movimientos fundamentalmente horizontales de los labios de las fisuras, suprimiendo o retrasando su transmisión hacia las capas superficiales del pavimento.

Normalmente, se trata de capas delgadas (de entre 1,5 y 2 cm) utilizadas bajo una capa de mezcla bituminosa que sirve como rodadura. Según el objetivo perseguido por la capa anti-fisuras utilizada éstas pueden ser clasificadas en flexibles, capaces de resistir grandes deformaciones en las proximidades de las fisuras, rígidas al actuar como refuerzo y evitar la deformación de la capa de rodadura, o impermeabilizantes, evitando la entrada de agua y otros agentes químicos dañinos a la estructura del firme, pudiendo cumplir varios de ellos en función del material y el tipo de capa utilizada (Vanelstraete & Bondt, 1997). En base a ello, para poder garantizar un comportamiento eficaz durante su aplicación es necesario que cumplan una serie de características (CEDEX, 1992):

- ser suficientemente flexibles o deformables ante las sollicitaciones lentas de los ciclos térmicos;
- conservar una rigidez suficiente ante las sollicitaciones del tráfico;
- poseer una buena adherencia tanto sobre el soporte fisurado como sobre las capas de aglomerado que la va a proteger;

- ser poco compresible verticalmente para evitar problemas de fatiga del aglomerado en superficie;
- ser resistente a las deformaciones impidiendo que las roderas aparezcan en la capa superior;
- ser impermeables, impidiendo la entrada de agua a las capas inferiores, incluso en el caso que la fisura aparezca en el pavimento.

En la actualidad existen numerosas soluciones de interposición generalizada empleadas para disminuir y retardar los efectos de la fisuración. De entre todos estos sistemas, podemos destacar los geotextiles impregnados con ligantes hidrocarbonados, las geomallas, las mallas de armadura metálica, o los nidos de abeja. No obstante, la eficacia mecánica de estas soluciones depende en muchas ocasiones de sus condiciones de puesta en obra (la cual no siempre es fácil debido a la formación de pliegues y deformaciones), así como de las características y dotación del ligante utilizado en su aplicación. Además, en la mayoría de las ocasiones su elevado precio limita mucho su empleo (geomallas, armaduras y nidos de abeja), por lo que una de las soluciones más comunes son los geotextiles impregnados, aunque éstos también necesitan del empleo de dispositivos específicos de desenrollado mecánico.

Así, a la hora de desarrollar un nuevo sistema anti-reflexión de fisuras será necesario tener en cuenta todas esas consideraciones de manera que permita cumplir con el compromiso entre rigidez y deformabilidad de forma que se adapte a las sollicitaciones inducidas por los gradientes térmicos, sin que por ello aparezcan síntomas de fatiga o afecciones plásticas debido a las cargas dinámicas del tráfico. Además, el sistema desarrollado deberá garantizar una buena adherencia entre capas, así como propiedades impermeabilizantes, que garanticen la protección del paquete de firme contra la acción del agua. Finalmente, la puesta en obra de un sistema anti-fisuras de dichas características

deberá resultar sencilla de ejecutar, a la vez que económica, de manera que su uso pueda hacerse extensivo como solución preventiva en la construcción de nuevas carreteras y paliativa en la rehabilitación de firmes.

2.2. Desarrollo de la manta anti-fisuras

Analizando las características de los neumáticos fuera de uso, a pesar de haber agotado las prestaciones mecánicas para el desempeño de las funciones para las que fueron diseñados, puede observarse que aún conservan las condiciones necesarias para cumplir con las exigencias impuestas a un sistema anti-reflexión de fisuras. Por una parte, se trata de materiales lo suficientemente flexibles para no verse afectados por las tensiones generadas por los gradientes térmicos (siendo además materiales termoestables, cuyas propiedades mecánicas no varían con respecto a la temperatura), y por otra ofrecen la rigidez y elasticidad necesarias para soportar los efectos dinámicos de las cargas del tráfico, así como la aparición de deformaciones plásticas en la capa que lo recubre. En este sentido, si el espesor de neumático empleado no es demasiado grueso, la compresibilidad vertical de la capa no será elevada y, por tanto, se evitarían también problemas de fatiga en dicha mezcla. Además, debido a la presencia del caucho, los neumáticos usados son un material impermeable, y además muy resistentes a los efectos de los agentes ambientales (con lo que se evitaría su degradación a lo largo de los años). De esta forma, si se garantiza una buena adherencia a las capas del firme, y unas condiciones favorables de puesta en obra, su aplicación como técnica de interposición generalizada puede suponer un gran avance en las técnicas de rehabilitación de carreteras, así como en los pavimentos de nueva construcción, puesto que se trata de un producto económico y sostenible.



Figura 1. Ejemplos de aplicación en obra de geotextil impregnado, malla metálica y geomalla.

En base a estas consideraciones, desde esta investigación se decidió desarrollar un sistema anti-reflexión de fisuras a partir de neumáticos usados. En un principio se pensó en la posibilidad de disponer un compuesto a base de un riego de ligante y partículas de caucho triturado de gran tamaño (1-5 mm); no obstante tras observar los productos suministrados por la empresa Gomavial Solutions S. L. (especializada en la valorización de neumáticos usados a través de su deconstrucción), se consideró la posibilidad de crear una manta anti-fisuras a partir de las capas resistentes del neumático (textiles y metálicas). Dichos materiales cumplen con todas las exigencias impuestas a estos sistemas, y por tanto la investigación debía de centrarse en la forma de aplicarlos como sistema anti-fisuras en los pavimentos y en verificar su eficacia.

Los neumáticos se componen de tres capas fundamentales (Figura 2): una banda de rodadura compuesta mayoritariamente por caucho, y bajo ésta, una banda compuesta por fibras

metálicas (que lo dota de capacidades resistentes), y otra compuesta por fibras textiles que da cohesión al conjunto. La empresa Gomavial Solutions es capaz de suministrar cada una de estas capas por separado, de manera que pudieron ser caracterizadas mecánicamente a nivel de laboratorio para estudiar sus propiedades.

Así, como primer paso en el desarrollo de la manta anti-fisura se evaluaron las características de estos materiales, empezando por sus propiedades geométricas. Tanto el ancho como el largo de las capas están bien definidos, y vienen marcados por la tipología del neumático (en torno a los 250 mm de ancho y 1.900 mm de largo). No obstante, en el caso del espesor los resultados no se mostraron tan homogéneos cuando se evaluó la capa de rodadura, resultando muy variable puesto que depende del nivel de desgaste al que hayan sido sometidos los neumáticos durante su vida de servicio (entre 4 y 12 mm). Este aspecto es clave a la hora de seleccionar el tipo de capa a emplear en la

fabricación de la manta anti-fisuras puesto que se trata de un sistema aplicado sobre grandes superficies, y por tanto las características geométricas deben ser lo más homogéneas posibles. Debido a ello, y a la influencia de dicho espesor en las propiedades mecánicas del material (que también fue estudiado analizando más de 100 muestras, Figura 3), se descartó la aplicación de la capa de rodadura del neumático como material en la fabricación de la manta anti-fisuras. Además, el otro aspecto que llevó a descartar la aplicación de esta capa fueron los dibujos y acanaladuras existentes en la banda de rodadura, puesto que suponen un impedimento para garantizar la adherencia con las mezclas bituminosas del paquete de firme.

Una vez verificado que las propiedades geométricas más homogéneas eran proporcionadas por las capas metálicas y textiles (dado que su espesor es constante debido a que se encuentran en el interior del neumático y no se desgastan), se procedió a la caracterización de sus



Figura 2. Descripción de las diferentes capas del neumático y de los productos suministrados por Gomavial Solutions.

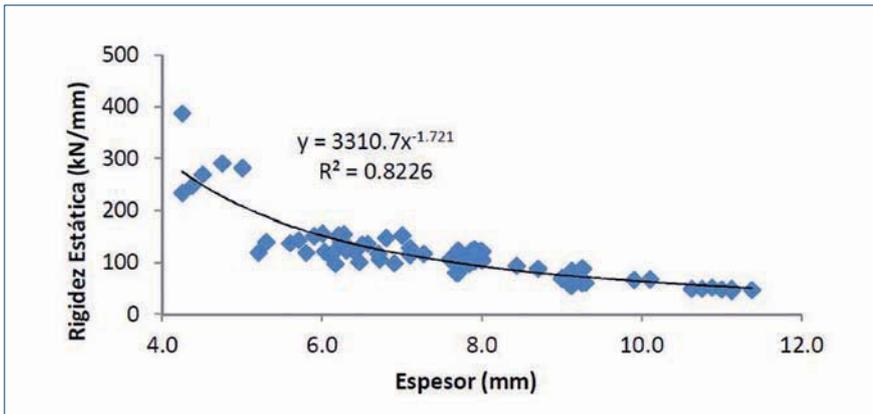


Figura 3. Variación de la rigidez de la capa de rodadura del neumático en función del espesor.

Tabla 1. Propiedades de los materiales evaluados para la fabricación del sistema anti-fisuras.

Propiedades	Capa Textil	Capa Metálica	Geotextil
Resistencia a tracción (kN/m), EN ISO 10319	72,24	225,77	13,86
Elongación (%), EN ISO 10319	16,91	20,72	58,33
Espesor bajo 2 kPa, EN ISO 9864	2,3	3,1	1,3
Peso (g/m ²), EN ISO 9863-1	2.267	4.636	156

propiedades mecánicas. Para ello, se realizaron ensayos de resistencia a tracción (EN ISO 10319) y elongación (EN ISO 10319). Los resultados de dicha caracterización vienen recogidos en la Tabla 1. Además, a la misma vez y de manera que pudiera establecerse un análisis comparativo, se ensayaron las propiedades mecánicas de un sistema anti-reflexión de fisuras de común empleo: geotextil no tejido de filamentos de polipropileno. Como se puede observar, la resistencia a tracción de las capas deconstruidas del neumático son considerablemente mayores que en el caso del geotextil, sobre todo la de la capa metálica. Este hecho implicaría una mayor capacidad para soportar las tensiones generadas en el firme que inducen la propagación de las fisuras. Además, al tratarse de

materiales más rígidos y con una menor elongación, hacen que su capacidad portante sea mayor y por tanto que las cargas dinámicas del tráfico afecten en menor medida a la estructura del pavimento. Finalmente, es interesante destacar la presencia de caucho recubriendo tanto a las fibras textiles como a las metálicas (Figura 4), el cual provee a estas capas de un comportamiento elástico que permite absorber parte de la energía introducida por dichas cargas sin que ésta provoque un daño sobre el material (disminuyendo y retardando la presencia de fisuras en la superficie del firme). Este comportamiento elástico también podría resultar útil a la hora de disipar la energía transmitida por cargas puntuales elevadas, como es el caso de pavimentos aeroportuarios.

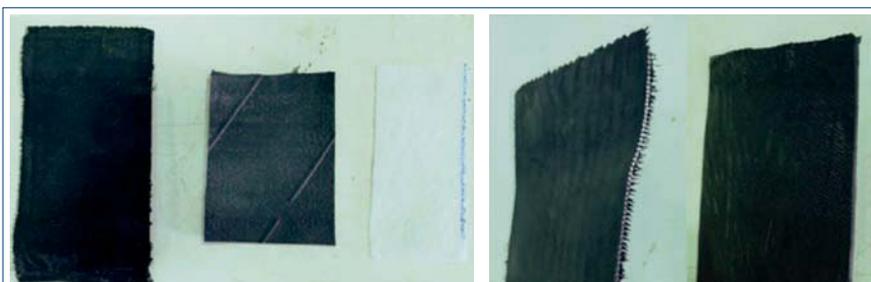


Figura 4. Detalle de las tres capas evaluadas (metálica, fibras y geotextil), así como de la presencia de caucho recubriendo la capa metálica y la textil.

Dados los resultados obtenidos tras su comparación con el geotextil de referencia, se decidió investigar la posibilidad de desarrollar el sistema “manta anti-fisuras” con ambos materiales (capa textil y capa metálica), y evaluar cuál de ellos resultaba más eficiente a la hora de ser aplicado como solución anti-remonte de fisuras. Para ello, el siguiente paso a realizar en la concepción del sistema antes de su evaluación fue verificar su capacidad de adherencia con las capas de mezcla bituminosa del firme. Para ello se realizó un estudio en el que se analizó la tipología de ligante más adecuada (emulsión o betún), así como su dotación (0,7 kg/m², 0,9 kg/m², y 1,3 kg/m²). Dicho estudio se llevó a cabo, en base a investigaciones previas desarrolladas por otros autores en torno a geotextiles (Zamora-Barraza *et al.*, 2010; Zamora-Barraza *et al.*, 2011). Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que el empleo de emulsiones bituminosas como riego adherente no garantiza una buena aplicación de las capas textiles y metálicas del neumático como sistemas anti-fisuras. La presencia de caucho en éstas provoca que sean muy impermeables, impidiendo que la emulsión lo impregne. Este hecho unido a la rigidez de estos materiales, provocaron problemas de adherencia con las capas de mezcla bituminosa que se evidenciaron durante la elaboración de las probetas a nivel de laboratorio y tras sumergirlas 24 horas en un baño con agua (Figura 5a). Por su parte, las pruebas realizadas empleando betunes como riego adherente sí permitieron la fabricación de secciones de firme con una correcta adherencia del sistema manta anti-fisuras a las capas bituminosas. A pesar de que con todas las dotaciones utilizadas fue posible elaborar las probetas y que resistían en su manipulación tras las 24 horas de inmersión en agua, la única dotación que consiguió mantener la totalidad de la superficie de la capa de neumático con la mezcla fue la de 1,3 kg/m² (Figura 5b).

Por tanto, una vez definidos los materiales a emplear y sus condiciones de aplicación, el siguiente paso a seguir en la investigación fue la evaluación de la eficiencia de la manta fabricada con capas de neumáticos usados como sistema anti-reflexión de fisuras.

3. Validación del sistema "manta anti-fisuras"

3.1. Metodología

3.1.1. Materiales

Durante el estudio de validación del sistema "manta anti-fisuras" se trabajó con una sección de firme estándar, con objeto de realizar un análisis representativo de su comportamiento mecánico. Para ello, los materiales seleccionados fueron una mezcla de tipo AC 22 S en capa intermedia, extendida en un espesor de 6 cm, y una mezcla tipo SMA 11 para capa de rodadura, con un espesor de 3 cm. Ambas mezclas son de común empleo en firmes asfálticos de todo el mundo, y suponen una buena referencia a la hora de evaluar la eficacia de los sistemas anti-remonte de fisura. Los materiales empleados en la fabricación de las mezclas fueron áridos de tipo ofítico en la fracción gruesa, de tipo calizo en la fina, y carbonato cálcico en la fracción filler. En relación a los ligantes, se utilizó un betún convencional B 50/70 para la mezcla AC 22 S, y un betún modificado con polímeros BM3c para la mezcla SMA 11, a la que además se adicionaron fibras con una dotación del 0,3% sobre el peso total de la mezcla. Las principales características de estos materiales vienen recogidas en la Tabla 2.

En base a estas consideraciones se evalúan cuatro secciones diferentes de firme (Figura 6): una sección de referencia (SR) compuesta por la mezcla AC 22 S en capa intermedia y la SMA 11 en rodadura; una sección con la que comparar la respuesta mecánica de las mantas anti-fisuras (SG) compuesta

por la mezcla AC 22 S en capa intermedia, la SMA 11 en rodadura, y entre ambas un geotextil impregnado; una sección con la que evaluar la manta anti-fisuras fabricada con la capa textil del neumático (ST), compuesta por las dos mezclas y entre ambas la solución anti-reflexión; y finalmente, la misma sección pero la manta anti-fisuras empleada es la fabricada a partir de la capa metálica (SM).

Para homogeneizar el estudio todas las secciones de firme fueron fabricadas siguiendo el mismo procedimiento de compactación y empleando el mismo tipo y dotación de ligante en el riego de adherencia entre capas. Así, se utilizó un compactador vibratorio de 300 x 300 cm a partir del cual se fabricaron las secciones de pavimento a estudiar, realizando el proceso en dos etapas: una primera centrada en la compactación de la mezcla AC 22 S de capa intermedia, y una segunda en la que se lleva a cabo la colocación del sistema antiremonte de fisuras y la compactación de la mezcla SMA 11 de rodadura. Las secciones de firme obtenidas tras esta compactación son posteriormente aserradas para la obtención de las probetas

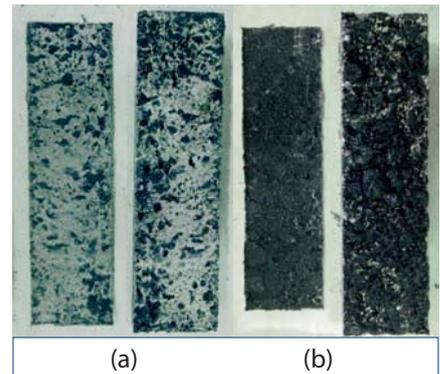


Figura 5. Imagen de manta anti-fisuras y mezcla con pocos puntos de adherencia debido al empleo de emulsión (a), y con adherencia continua debido al empleo de betún (b).

utilizadas en los ensayos: prismáticas de 200 x 60 mm y cilíndricas de 101,6 mm de diámetro (Figura 7).

3.1.2. Plan de Ensayos

Los ensayos seleccionados para llevar a cabo la evaluación del comportamiento mecánico de las secciones de firmes estudiadas fueron: el ensayo de corte directo (Leutner, 1979) y el método de ensayo UGR-FACT (Moreno-Navarro & Rubio-Gámez, 2013).

Las propiedades mecánicas de las capas deconstruidas del neumático han demostrado cumplir con la mayor parte de las exigencias requeridas a

Tabla 2. Características de las mezclas empleadas en el estudio.

Propiedades	AC 22 S (EN 13108-1)	SMA 11 (EN 13108-5)
Contenido de betún, % s/m	4,2	6,8
Densidad, kg/m ³ (EN 12697-6)	2.586	2.493
Huecos en mezcla, % (EN 12697-8)	4,1	3,2

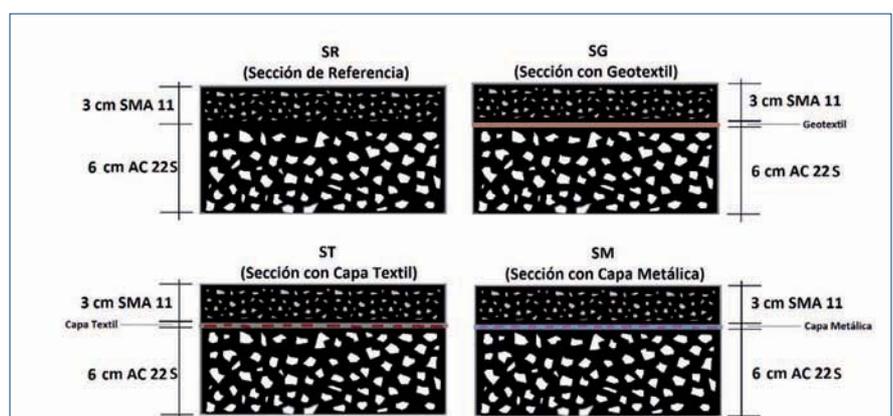


Figura 6. Secciones de firme estudiadas.

Figura 6. Secciones de firme estudiadas.



Figura 7. Fabricación de las probetas empleadas en el estudio de laboratorio llevado a cabo.

las técnicas de interposición generalizada. No obstante, es necesario demostrar que además son capaces de garantizar una adherencia aceptable con las capas de mezclas bituminosas entre las que van ser colocadas. Este aspecto resulta fundamental puesto que, aunque su capacidad para reducir el daño a fisuración sea alta, si existe una falta de adherencia pueden aparecer problemas a largo plazo que terminen provocando el fin de la vida de servicio del pavimento, los cuales son intensificados con la presencia de agua (Raab & Partl, 2004). Para esta parte del estudio se ha empleado el ensayo de corte directo, consistente en la evaluación a cortante de un testigo a sección completa del pavimento estudiado. Para ello, la parte del testigo perteneciente a la capa intermedia se encuentra fija con unas mordazas

(hasta la zona inter-capas), y la parte perteneciente a la capa de rodadura se encuentra en voladizo (Figura 8). A partir de esta configuración, una carga de cortante es aplicada sobre la zona de la capa de rodadura con una velocidad de deformación de 59 mm/min, la cual provoca el fallo de la probeta por el plano inter-capas. Tres probetas de cada una de las diferentes secciones de firme fueron ensayadas a una temperatura de ensayo de 20 °C.

Por su parte, el ensayo UGR-FACT (desarrollado también por este investigador) se trata de un innovador método que permite evaluar el comportamiento mecánico a fisuración por fatiga de mezclas bituminosas y secciones de firme. Para ello, el dispositivo es capaz de reproducir los esfuerzos generados en el firme durante su vida de servicio (cortante y flexión debido

a las cargas del tráfico; y tracción debido a los gradientes térmicos; Figura 8), y evaluar la respuesta mecánica del material a través del estudio de la energía disipada por el mismo debido a la evolución del daño (pudiendo de esta forma cuantificar de manera más real el proceso de fisuración, a pesar de su aleatoriedad y dispersión en las tres dimensiones).

El dispositivo UGR-FACT está compuesto por una base sobre la que se sitúan los apoyos en los que está adherida la probeta, permitiendo a través del deslizamiento de uno de ellos la generación de esfuerzos de cortante y tracción sobre la misma. Además, bajo estos apoyos se encuentran dos elementos elásticos que permiten generar esfuerzos de flexión en la probeta, reproduciendo así dentro de un volumen representativo de estudio el conjunto de sollicitaciones debidas a las cargas del tráfico y a las retracciones térmicas. El análisis del comportamiento mecánico de los materiales ensayados se realiza a través del estudio de la energía disipada en el interior del volumen representativo en el que tiene lugar el desarrollo del proceso de fisuración. Este concepto resulta innovador frente a los ensayos existentes en la actualidad y permite una evaluación precisa de la respuesta de los materiales ensayados en cada una de las etapas del proceso (Figura 9).

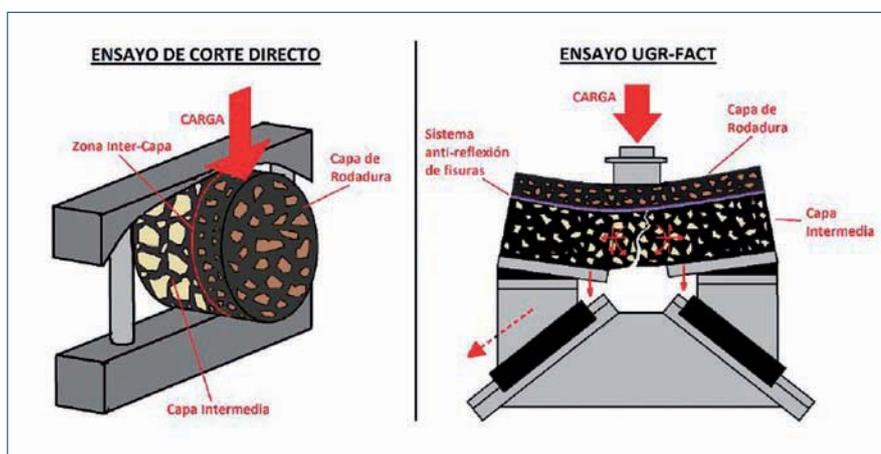


Figura 8. Esquema de los ensayos realizados.

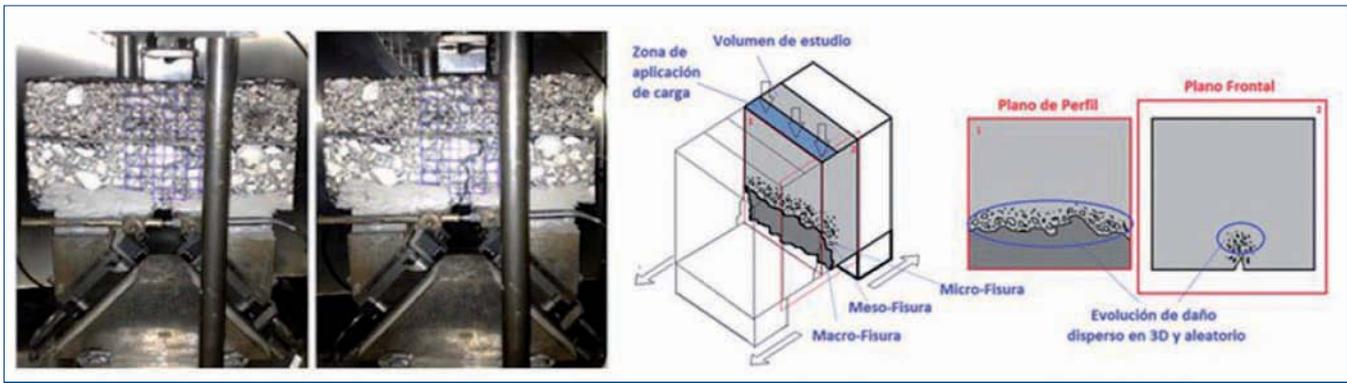


Figura 9. Estudio de la propagación del daño en una sección de firme a través del UGR-FACT.

Tabla 3. Plan de ensayos realizado durante la investigación.

Método de Ensayo	Sección de Pavimento	Condiciones de Carga	Número de Probetas Ensayadas	Temperatura
Ensayo de Corte Directo	SR	59 mm/min	3	20 °C
	SG	59 mm/min	3	20 °C
	ST	59 mm/min	3	20 °C
	SM	59 mm/min	3	20 °C
UGR-FACT	SR	0,75 kN, 5 Hz	2	20 °C
		1,0 kN, 5 Hz	2	20 °C
		1,5 kN, 5 Hz	2	20 °C
	SG	0,75 kN, 5 Hz	2	20 °C
		1,0 kN, 5 Hz	2	20 °C
		1,5 kN, 5 Hz	2	20 °C
	ST	0,75 kN, 5 Hz	2	20 °C
		1,0 kN, 5 Hz	2	20 °C
		1,5 kN, 5 Hz	2	20 °C
	SM	0,75 kN, 5 Hz	2	20 °C
		1,0 kN, 5 Hz	2	20 °C
		1,5 kN, 5 Hz	2	20 °C

La sección de pavimento evaluada disipará más energía cuanto mayor daño se produzca en la probeta ensayada. No obstante, únicamente la cantidad relativa de disipación de energía creada por cada ciclo de carga (lo que excluye la energía disipada asociada a comportamientos pasivos como la energía térmica), puede provocar un daño adicional en la mezcla (Shen & Carpenter, 2007). En base a estas consideraciones, para poder analizar la evolución y cuantificación real del daño por fisuración que tiene lugar en la mezcla, es necesario utilizar el concepto de tasa de cambio de

energía disipada "RDEC" (Ecuación 1, Shen & Carpenter, 2007). El uso de este parámetro permite eliminar la energía que es disipada sin producir daño en la mezcla (como la energía disipada en forma de calor), proporcionando un buen indicador del daño por fisuración causado en la mezcla de un ciclo de carga a otro. Así, utilizando este concepto, el método de ensayo UGRFACT permite cuantificar de forma precisa la evolución del daño por fisuración sufrido por el material durante el ensayo mediante la representación del RDEC acumulado. Además, el parámetro de daño medio (γ , Ecuación 2) define

la resistencia del material evaluado a dicho proceso de fisuración (a menor parámetro de daño, más resistente es el material). En base a los valores del parámetro medio de daño obtenidos para cada nivel de carga, puede definirse la ley de daño a fisuración por fatiga. Mediante esta ley de daño puede determinarse qué materiales, y bajo qué condiciones, son más susceptibles de ser afectados por el fenómeno de fisuración por fatiga, de manera que puede ser utilizada como criterio en la elección de qué sistema anti-reflexión de fisuras es más efectivo.

$$RDEC = \frac{\omega_{n+1} - \omega_n}{\omega_n} \quad (1)$$

donde ω_{n+1} es la energía disipada en el ciclo n+1, y ω_n la energía disipada en el ciclo n.

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^{N_f} RDEC_i}{N_f} \quad (2)$$

donde N_f es el ciclo de fallo del ensayo.

Los ensayos realizados con el método UGR-FACT han sido llevados a cabo a temperatura controlada de 20 °C, aplicando cargas cíclicas verticales a tensión controlada en forma de seno-verso (que simulen el paso de los vehículos) con diferentes amplitudes (0,75 kN, 1,0 kN y 1,5 kN). Por su parte, el criterio de fin de ensayo seleccionado ha sido la propagación total de la macro-fisura a través de la probeta, provocando el fallo estructural de la sección de firme.

En la Tabla 3 se resumen el conjunto de ensayos realizados durante esta investigación.

3.2. Análisis de resultados

3.2.1. Ensayo de Corte Directo

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo. Como se puede observar, los picos máximos de resistencia a cortante han sido ofrecidos por la sección de referencia, por lo que se puede afirmar que la interposición de cualquier tipo de sistema anti-reflexión de fisuras entre las capas del firme disminuye la adherencia entre estas (lo cual es lógico). En este sentido, también se puede afirmar que las mantas anti-fisuras desarrolladas a partir de neumáticos usados tienen una adherencia inferior (del orden de la mitad) que la solución anti-fisuras tradicional analizada (geotextil). Este hecho puede ser debido a la presencia del caucho que recubre las fibras metálicas y textiles de las capas deconstruidas del neumático que ejerce un efecto impermeabilizante (impidiendo que la manta anti-fisuras se impregne de ligante). No obstante, los valores de resistencia a cortante alcanzados en ambos tipos de manta anti-fisuras superan los 200 kPa, valor que según algunos autores son los transmitidos por los vehículos pesados a tensión cortante sobre el pavimento (Epps & Button, 1978). Por tanto puede considerarse que la adherencia alcanzada con las mantas anti-fisuras es suficiente para su aplicación en firmes de carretera, aunque sería interesante estudiar su comportamiento en una sección real.

La Figura 10 muestra la curva carga-desplazamiento de las diferentes secciones estudiadas. Como se puede observar, la energía necesaria para provocar el fallo de la sección de referencia es superior (lo cual indica su mejor adherencia, Tabla 4). No obstante, una vez alcanzado el nivel máximo de resistencia, la fricción entre capas cae considerablemente en el caso de la sección de referencia (SR) y la sección con geotextil

Tabla 4. Valores obtenidos en el ensayo de corte directo.

Tipo de Sección	Tensión Cortante Pico (valor medio, kPa)	Desviación Típica	Energía Disipada (valor medio, J)	Desviación Típica
SR	652,89	60,38	11,87	1,96
SG	437,61	66,62	8,43	1,09
ST	242,19	18,81	7,98	1,44
SM	225,44	34,76	7,90	0,95

(SG). Por el contrario, las secciones en las que se utilizaron las mantas anti-fisuras procedentes de neumáticos usados mantienen una fricción residual entre capas, lo que sostiene que la energía necesaria para provocar su fallo a cortante sea similar a la del geotextil (a pesar de soportar un pico de fuerza menor). Este aspecto resulta positivo puesto que el fallo de adherencia entre capas no suele producirse por esfuerzos picos, sino por fatiga, y por tanto al tener una energía de fallo similar, se puede garantizar un comportamiento parecido entre la solución tradicional y las desarrolladas en esta investigación.

3.2.2. UGR-FACT

Cuando se evalúa el comportamiento a fisuración por fatiga de una sección de pavimento pueden diferenciarse tres etapas: una primera en la que la fisura se inicia en la capa inferior y se propaga hasta la zona de contacto entre capas; una segunda en la que la fisura pasa la zona de contacto (viéndose influenciada por la presencia o no de algún tipo de solución anti-remonte de

fisuras) y se propaga a través de la capa de rodadura; y una tercera en la que la fisura alcanza la superficie de la capa de rodadura provocando el fallo estructural de la sección del pavimento. Estas tres etapas se han visto reflejadas claramente en los resultados de energía disipada obtenidos en cada uno de los ensayos UGR-FACT realizados (Figura 11). En este sentido, las gráficas han mostrado una primera zona en la que la energía disipada en cada ciclo ha ido incrementando ligeramente, zona que se corresponde con el inicio y propagación del proceso de fisuración por la capa inferior de la probeta hasta la zona entre capas. Posteriormente, la tendencia de la curva de energía disipada varía drásticamente en una segunda zona, volviéndose más vertical, correspondiéndose con el paso del proceso de fisuración entre la zona entre capas, y su propagación por la capa superior. Finalmente, puede observarse un nuevo cambio de tendencia en la curva de energía disipada, volviéndose más plana y constante, lo que se corresponde con el fallo total de la sección del pavimento.

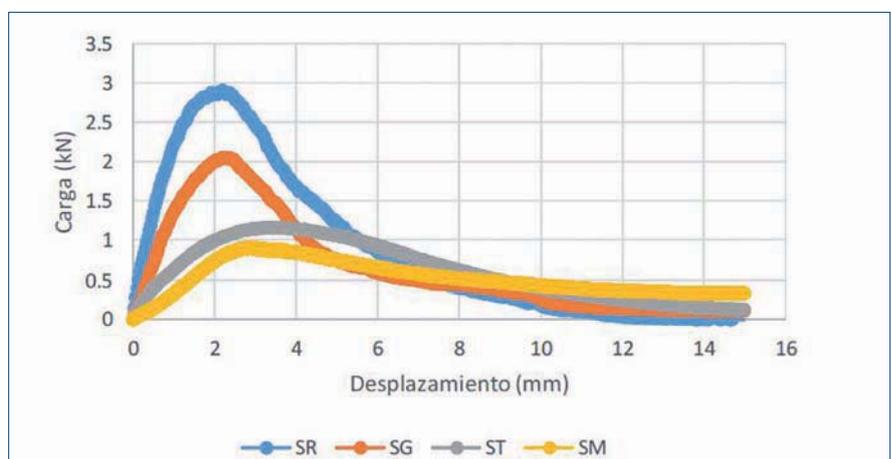


Figura 10. Curvas carga-desplazamiento obtenidas en el ensayo de corte-directo.

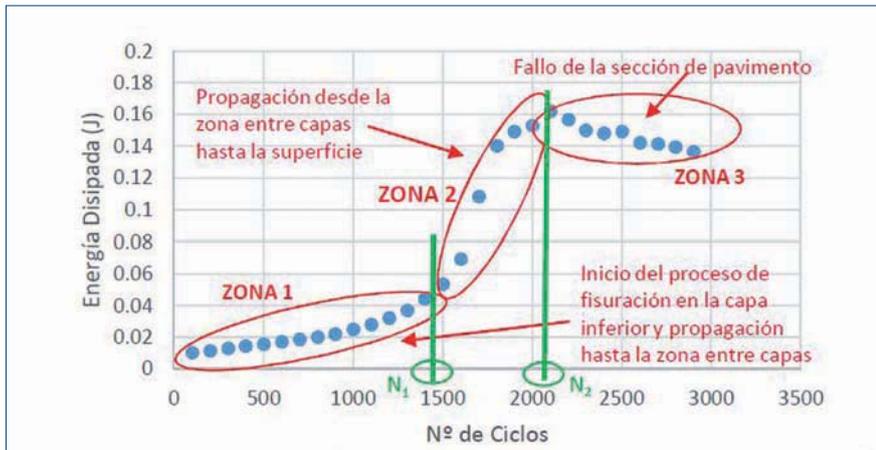


Figura 11. Curvas carga-desplazamiento obtenidas en el ensayo de corte-directo.

Tabla 5. Media de los ciclos de referencia para cada una de las secciones estudiadas.

Amplitud de Carga	Tipo de Sección	N1	N2	N2-N1	Coefficiente de Eficacia
0,75 kN	SR	3.200	4.800	1.600	-
	SG	7.300	34.900	27.600	17,25
	ST	7.400	36.300	28.900	18,06
	SM	42.700	96.100	53.400	33,36
1,0 kN	SR	1.500	2.100	600	-
	SG	6.200	10.300	4.100	6,83
	ST	4.000	8.500	4.500	7,50
	SM	31.600	43.100	11.500	19,17
1,5 kN	SR	600	700	100	-
	SG	700	1.000	300	3,00
	ST	3.300	5.400	2.100	21,00
	SM	3.000	7.600	4.600	46,00

La Figura 11 muestra un ejemplo de las curvas obtenidas en este ensayo. Como se puede observar, cuanto menor es la pendiente de la segunda zona, menor es la energía que está disipando el material, y por tanto menor es el daño a fisuración producido. Así, la presencia de sistemas anti-remonte de fisuras hacen que dicha pendiente disminuya de manera que el material aguante más ciclos de carga antes de agotar su resistencia mecánica. Además, el estudio de los resultados ofrecidos por estas curvas proporciona dos ciclos de referencia a la hora de evaluar la eficacia del sistema anti-fisuras: N1 que marca el ciclo en el que el proceso de fisuración entra en contacto con el sistema, y N2 que

marca el fallo de la capa de rodadura. Por tanto, la diferencia de ciclos entre ambos hitos (N2-N1) ofrece una cuantificación fenomenológica del efecto causado por el sistema anti-remonte de fisuras.

La Tabla 5 muestra los valores medios obtenidos para estos ciclos en los ensayos realizados durante el estudio, así como el coeficiente de eficacia de los sistemas anti-remonte de fisuras, que se obtiene dividiendo el valor de N2-N1 del sistema evaluado entre el valor N2-N1 de la sección de referencia fabricada sin sistema anti-remonte. Como se puede observar, el empleo de cualquiera de los sistemas anti-remonte de fisuras estudiados mejora el comportamiento mecánico de la sección de

firme. En este sentido, es interesante destacar que la manta anti-fisuras fabricada a partir de las capas textiles deconstruidas del neumático tiene un comportamiento muy similar al de la solución tradicional (geotextil), exceptuando bajo condiciones de altas cargas en las que se comporta mejor (debido a la presencia de caucho que es capaz de absorber mejor los efectos dinámicos de las cargas altas). No obstante, es aún más interesante resaltar la respuesta mecánica ofrecida por la manta anti-fisuras fabricada a partir de fibras metálicas, muy superior tanto a su homóloga textil como a la solución tradicional. Debido a la gran diferencia de ciclos de resistencia con respecto a la sección de referencia, puede decirse que la aplicación de la manta anti-fisuras fabricada a partir de las capas metálicas podría ser muy provechosa para alargar la vida de servicio del pavimento y así reducir los costes de mantenimiento del mismo.

En la Figura 12 se muestran los resultados de la evolución del daño sufrido por las secciones de firme evaluadas a través del cálculo del RDEC acumulado. Estos resultados concuerdan con los anteriormente comentados puesto que es posible destacar cómo el daño producido en la sección que contiene la manta anti-fisuras fabricada con fibras metálicas progresa de forma mucho más lenta que en el resto de las secciones analizadas.

Así, puede resaltarse que cuando las otras secciones de firme han agotado su capacidad estructural, el daño producido en la sección con la manta anti-fisuras metálica aún es bajo. Este hecho es debido tanto a la presencia de caucho que amortigua el efecto dinámico de los ciclos de carga, como de su mayor rigidez y resistencia mecánica, que se ven menos afectadas por las tensiones generadas en el proceso de fisuración. Por su parte, la manta anti-fisuras fabricada con fibras textiles y el geotextil vuelven a presentar un

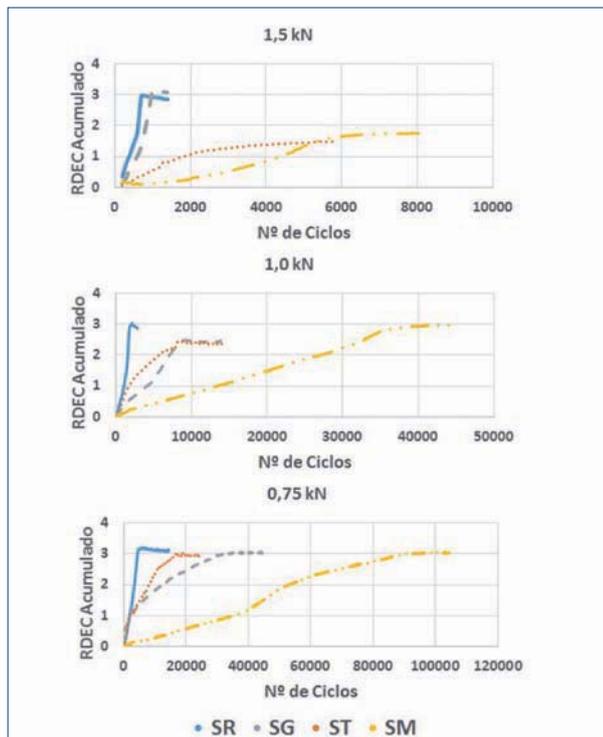


Figura 12. Evolución del daño a fisuración producido a lo largo del ensayo UGR-FACT.

comportamiento muy similar (exceptuando, como ya se ha comentado, para cargas elevadas), siendo ambas soluciones favorables para disminuir el daño producido a fisuración en la sección, aunque menos efectivas que el empleo de la capa de fibras metálicas.

Finalmente, en la Figura 13 se recogen los valores de daño medio obtenidos en cada sección para cada nivel de carga. Como se puede observar, el empleo de un geotextil impregnado disminuye considerablemente el daño a fisuración producido en la sección del pavimento alargando su vida útil. No obstante, las mantas anti-fisuras desarrolladas provocan una reducción del daño aún más considerable, incluso bajo cargas elevadas. Este hecho resalta la eficacia de este sistema y de cómo no solo retardará la aparición de daño a fisuración, sino que una vez aparecido, éste será más liviano (el tipo de fisura será más fina). En la Figura 14 se demuestra este hecho, cómo la fisura que alcanza la capa intermedia en el caso del geotextil impregnado es mucho mayor que la de la manta anti-fisuras fabricadas con capa metálica.

4. Conclusiones

Este documento resume los trabajos de investigación llevados a cabo para el desarrollo de un nuevo sistema anti-reflexión de fisuras, fabricado a partir de capas deconstruidas de neumáticos usados. Durante el mismo se han expuesto las bondades que este sistema supondría para el ámbito de la ingeniería de carreteras, así como los diferentes pasos seguidos durante su desarrollo y validación. En base a los resultados obtenidos en el estudio pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Las capas resistentes (textil y metálica) procedentes de neumáticos usados son materiales aptos para la construcción de un sistema anti-remonte de fisuras efectivo. Dichas capas disponen de unas condiciones geométricas constantes (largo, ancho y espesor), así como de unas propiedades mecánicas homogéneas (resistencia a tracción, elongación, etc.), las cuales cumplen con los principales requisitos exigidos a estos siste-

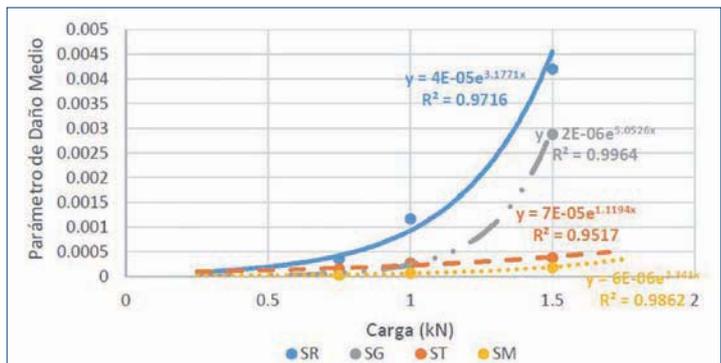


Figura 13. Parámetros de daño medio y leyes de fisuración por fatiga.

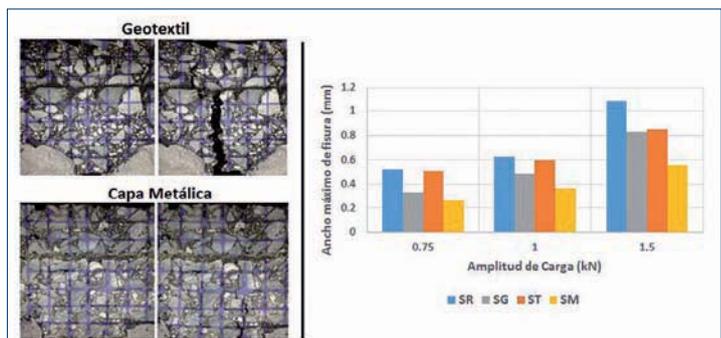


Figura 14. Características del tipo de fisura producido en las secciones.

mas. Además, pueden ser introducidas en el paquete de firme garantizando la adherencia entre las capas del mismo.

- La reutilización de las capas de neumático deconstruidas a través de esta solución supone un gran paso en su puesta en valor puesto que permite llevar a cabo su aplicación de manera económica (sin necesidad de dotarlas de un tratamiento mecánico de trituración), consumiendo una gran cantidad de unidades (puesto que serían aplicadas sobre grandes superficies), y además, reciclando los componentes del neumático que más dificultades han tenido hasta la fecha (las fibras textiles y metálicas). Por tanto, el sistema manta anti-fisuras no solo supondría una solución técnica para alargar la vida de servicio de las carreteras, sino también una alternativa efectiva a la problemática ambiental de los neumáticos usados.
- El empleo de mantas anti-fisuras fabricadas a partir de las capas textiles deconstruidas de

neumáticos usados permite alargar la vida de servicio de los pavimentos de carretera en la misma medida que las soluciones tradicionales (geotextil), resultando una alternativa más sostenible. Por su parte, los resultados obtenidos con la manta anti-fisuras fabricada con la capa metálica han demostrado que se trata de una solución aún más efectiva, proporcionando una vida de servicio considerablemente más larga que el resto de sistemas evaluados, y disminuyendo además el daño causado en el pavimento.

En base a estas consideraciones, el estudio aquí presentado ha permitido desarrollar una solución efectiva y sostenible para paliar los efectos de una de las principales patologías en los firmes de carretera de todo el mundo. Así, la aplicación de las mantas anti-fisuras fabricadas a partir de las capas metálicas de neumáticos usados deconstruidos puede suponer una alternativa muy competitiva en las labores de conservación y mantenimiento de firmes, así como en los de nueva construcción, de manera que permita alargar la vida de servicio de estas infraestructuras.

5. Futuras líneas de investigación

Los resultados obtenidos por la manta anti-fisuras a nivel de laboratorio la posicionan como una solución de gran potencial para seguir avanzando en la concepción de pavimentos de larga duración y carreteras más eficientes. Por ello, para poder consolidar esta oportunidad de innovación y convertirla en un desarrollo tecnológico real, resultaría de gran interés continuar esta investigación con la construcción de un tramo de prueba real en el que se termine de verificar la aptitud de este sistema.

6. Agradecimientos

Desde esta investigación se quiere agradecer a la empresa Gomavial Solutions el suministro de los materiales de neumáticos usados deconstruidos que han sido empleados en el transcurso de este estudio.

7. Bibliografía

- [1] CALTRANS, STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2005). "Uses of scrap tire rubber. State of the technology and best practices". Materials Engineering and Testing Services.
- [2] CEDEX, CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (1992). "Jornadas sobre reflexión de grietas en carreteras". Madrid.
- [3] CEDEX, CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (2007). "Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas". Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente.
- [4] COLOMBIER, G. (1997). "Cracking in pavements: nature and origin of cracks." Prevention of Reflective Cracking in Pavements – RILEM Report 18. Edited by Vanelstraete A. et Franckien L., pp. 1-15.
- [5] EPPS, J. A.; BUTTON, J. W. (1978). "Asphalt overlays with Mirafi-Fabric- The slippage question – on airport pavements". Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, pgs. 150.
- [6] GOMAVIAL SOLUTIONS, S.L. (2013). <www.gomavial.com>
- [7] LEUTNER, R. (1979). "Investigation of the adhesion of bituminous pavements [untersuchungen des schichtenverbunds beim bituminösen oberbau]". Bitumen Vol. 3, pp. 84–91.
- [8] MORENO-NAVARRO, F.; RUBIO-GÁMEZ, M.C. (2013). "UGR-FACT test for the study of fatigue

cracking in bituminous mixes". Construction and Building Materials. Vol. 43., pp. 184-190.

- [9] MORENO-NAVARRO, F.; RUBIO-GÁMEZ, M.C. (2013). "Método de ensayo UGR-FACT para el estudio del comportamiento a fisuración por fatiga de mezclas bituminosas". VIII Jornadas Nacionales de ASEFMA, Comunicación 27, Madrid.
- [10] RAAB, C.; PARTL, M. N. (2004). "Interlayer shear performance: Experience with different pavement structures". Proceedings of the 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna, paper 081, Book I, pp. 535- 545.
- [11] RUIZ, A. (2010). "Mezclas con caucho de neumáticos". Curso de mezclas bituminosas: dosificación, fabricación, puesta en obra y control de calidad. Barcelona.
- [12] SHEN, S., CARPENTER, S. H. (2007). "Dissipated energy concepts for HMA performance: fatigue and healing." Center of Excellence for Airport Technology, COE Report No. 29, Technical Report of Research, Federal Aviation Administration. University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
- [13] VANELSTRAETE, A.; BONDT, A. H. (1997). "Crack prevention and use of overlay systems". Prevention of reflective cracking in pavements – RILEM Report 18. Edited by Vanelstraete et Franckien, pp. 43-60.
- [14] ZAMORA-BARRAZA, D.; CALZADA-PÉREZ, M. A.; CASTRO-FRESNO, D.; VEGA-ZAMANILLO, A. (2011). "Evaluation of the anti-reflective cracking systems using geosynthetics in the interlayer zone". Geotextiles and Geomembranes, Vol. 29, 2011, pp. 130-136.
- [15] ZAMORA-BARRAZA, D.; CALZADA-PÉREZ, M. A.; CASTRO-FRESNO, D.; VEGA-ZAMANILLO, A. (2010). "New procedure for measuring adherence between a geosynthetic material and a bituminous mixture". Geotextiles and Geomembranes, Vol. 28, pp. 130-136. ❖

Experiencias en la implementación del primer tramo de carretera en México con pavimento asfáltico de larga duración

Vinicio Andrés Serment Guerrero
Ingeniero Civil

1. Introducción

En México, durante las últimas décadas, se ha producido un aumento considerable en el volumen de las mercancías transportadas por medio de las carreteras, acelerando el proceso de deterioro de las mismas, lo que nos obliga a introducir pavimentos con propuestas de estructuración distintas para garantizar su correcto desempeño durante su vida útil. Con este fin se decidió construir un pavimento de larga duración ("Pavimento Perpetuo") en el libramiento de Dr. González, que ha sido la primera obra de este tipo en nuestro país. Este libramiento forma parte del proyecto de modernización de la carretera Monterrey – Cd. Mier. El libramiento se inicia en el km 43+400 y termina en el km 55+022.83. Se trata de una carretera tipo A2, para una velocidad de proyecto de 110 km/h, con ancho de corona de 12 m.

Doctor González se ubica en las coordenadas geográficas 25°26' de latitud norte y 95°57' de longitud oeste en la región centro - este del Estado de Nuevo León a una altura de 404 metros sobre el nivel del mar. Su distancia del municipio de Monterrey es de 48 km, por la carretera Monterrey – Cd. Mier. Limita al norte con Higuera y Cerralvo, al sur con Pesquería y Los Ramones; al este con Cerralvo y al oeste con Marín.

Dicha carretera comunica la parte nororiente de la zona metropolitana de Monterrey, le tercera más grande del país, con el norte de Tamaulipas y la frontera con los Estados Unidos de América.

La estructura de pavimento propuesta es conocida como pavimento de larga duración (PLD) o "Pavimento Perpetuo"; se define como un pavimento asfáltico diseñado y construido para durar más tiempo que un pavimento convencional, sin necesidad de rehabilitación o reconstrucción estructural importante, y sólo necesita la renovación periódica de la superficie en respuesta a los deterioros limitados a la parte superior del pavimento.

El PLD se basa en el concepto de emplear mezclas asfálticas de distintas características, diseñadas de acuerdo

a la función que tendrán dentro de la estructura del pavimento, de manera que la vida útil del pavimento sea superior a la de una estructura convencional con trabajos de conservación enfocados a restablecer las condiciones de la capa de rodadura, sin rehabilitación del resto de las capas que conforman la estructura. Los deterioros estructurales por deformaciones permanentes y/o agrietamiento por fatiga se consideran poco probables.

Los principios de diseño de los PLD consisten en proporcionar suficiente rigidez a las capas superiores del pavimento para disminuir el espesor total de la estructura y prevenir las deformaciones plásticas (roderas o ahuellamientos) además de dotar a la capa inferior de la estructura de una flexibilidad adecuada para evitar el



Figura 1. Estructuración típica de un pavimento de larga duración.

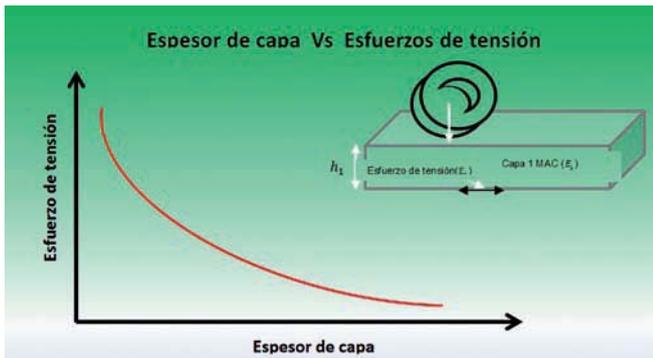


Figura 2. Relación entre espesor de capa y esfuerzos de tensión.

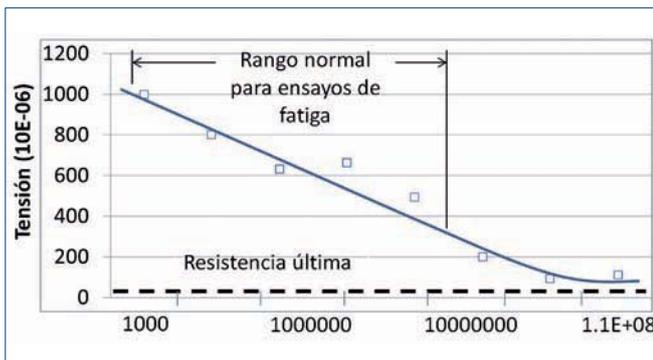


Figura 3. Esquema de ley de fatiga.

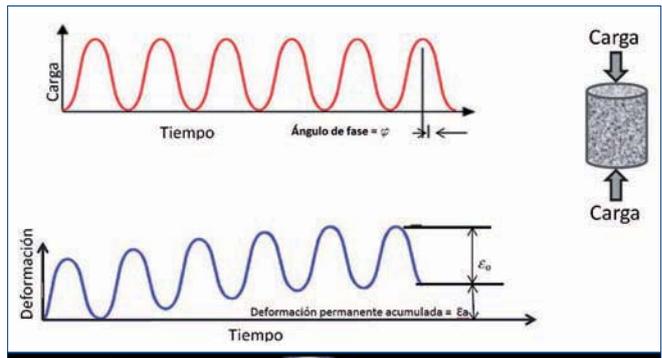


Figura 4. Determinación del módulo dinámico.

agrietamiento por fatiga. Además de las capas estructurales se coloca una capa de rodadura que se considera de desgaste y que es la que puede requerir ser cubierta o sustituida durante la vida útil del pavimento. Al igual que cualquier otra estructura de pavimento requiere de un terreno de cimentación (terracería o explanada) estable.

En este tipo de estructuras a la capa inferior se le conoce como "Capa Absorbadora de Tensión" (CAT); debe ser diseñada para resistir los esfuerzos de tensión por flexión que se generan por el paso de vehículos. Dicho diseño se hace obteniendo la ley de fatiga de la mezcla mediante ensayos dinámicos de probetas a flexión.

A la capa intermedia de la estructura de los PLD se le conoce como capa de alto módulo, en la que deben combinarse las características de estabilidad y durabilidad, a través de buenos agregados que permitan obtener un adecuado esqueleto mineral, y un ligante especial de manera que la mezcla tenga una buena resistencia interna que le permita soportar los esfuerzos generados por las cargas del tráfico sin permitir defor-

maciones apreciables. Se busca que el módulo dinámico de estas mezclas ($E^* > 10.000$ MPa) sea muy superior al de una mezcla convencional. La gran resistencia de esta capa permite que la magnitud de los esfuerzos que llegan a la subrasante (explanada) se reduzcan de manera significativa permitiendo reducir el espesor total de la estructura y al mismo tiempo incrementar la vida útil

En los PLD la capa de rodadura o desgaste requiere resistencia a la deformación permanente y al agrietamiento de la superficie, una adecuada fricción, la mitigación de las salpicaduras y proyección de agua, además de reducir el ruido provocado por el contacto neumático-pavimento. Sin embargo, debido a su escaso espesor (25 a 40 mm) se considera que no aporta capacidad estructural al pavimento.

2. Diseño Estructural del Pavimento

La metodología de diseño empleada para un PLD requiere de una estrategia diferente a la que se aplica comúnmente para pavimentos asfálticos

convencionales. Los diseños empíricos de pavimentos se basan en las relaciones observadas del desempeño del pavimento. Por lo general se llevan a cabo a una escala tal que represente el tráfico, relacionando algún indicador de la calidad del material, como un coeficiente estructural, y el espesor de las capas. El mejor enfoque para el diseño de los pavimentos perpetuos son las metodologías empírico-mecanicistas. Estos métodos utilizan los elementos de un análisis racional de ingeniería sobre la reacción del pavimento en términos de esfuerzos (σ), deformaciones (ϵ) y deflexiones (δ) en el contexto de la vida útil del pavimento. Se trata de una metodología iterativa en el que la respuesta del pavimento utiliza para estimar el número permitido de cargas hasta el fallo (N_f) para una determinada condición de carga y propiedades de los materiales.

Un factor importante para asegurar que el diseño de un pavimento sea el adecuado es el grado de certeza con el que se estime el tránsito esperado durante la vida de proyecto asumida. Para el diseño se consultó la información de

Tabla 1. Volumen de tráfico medido para la carretera Monterrey - Mier.

Lugar	km	TDPA							
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
X. C. Hacienda Guadalupe - Higueras	38,1	5.213	5.121	5.320	5.751	5.771	6.386	6.927	7.022

Tabla 2. Promedios de temperaturas y precipitaciones mensuales Prepa UDEM Fundadores.

Mes	Temperatura promedio (°C)	Precipitación promedio (mm)
Enero	13,0	17,8
Febrero	13,7	14,0
Marzo	19,3	17,5
Abril	22,8	129,0
Mayo	26,1	25,9
Junio	28,4	62,0
Julio	26,0	283,0
Agosto	27,9	11,2
Septiembre	25,6	257,0
Octubre	23,7	1,5
Noviembre	19,3	0,3
Diciembre	12,8	0,3

los volúmenes de tránsito contenidos en los datos viales publicados anualmente por parte de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Los datos que se muestran en la Tabla 1, contienen los volúmenes de tránsito obtenidos en la red nacional de carreteras pavimentadas, ubicada en el kilómetro 38,10 de la carretera Monterrey- Mier, ruta MEX-054.

Debido a que la estructura de un pavimento perpetuo se compone de varias capas asfálticas, toma mayor relevancia conocer las características climáticas de la zona o región en la cual se construirá, para predecir con mayor certeza su comportamiento. Los datos mostrados en la Tabla 2, se obtuvieron de la estación climatológica Prepa UDEM Fundadores, ubicada en Escobedo, Nuevo León; con coordenadas latitud: N 25 ° 46 ' 23 " longitud: W 100 ° 17 ' 42 " Elevación: 496,82 m.

3. Características de los materiales.

Para realizar un diseño empírico-mecanicista es indispensable conocer las propiedades de los materiales que

Tabla 3. Módulos estimados para capas de terracería.

Capa	CBR (%)	Mr (psi)	Mr (MPa)	Norma de referencia
Cuerpo de terraplén	5	7.157	49,35	N-CMT-1-01/02
Subyacente	10	11.153	79,90	N-CMT-1-02/02
Subrasante	20	17.380	119,83	N-CMT-1-03/02

integraran el pavimento expresadas en sus valores de módulos para ser introducidas en los programas de diseño utilizados. Sin embargo, debido a los requerimientos de tiempo y equipos necesarios para llevar a cabo la caracterización de los materiales por medio de sus módulos, se han desarrollado diversas correlaciones para estimarlos a través de pruebas cotidianas.

4. Capas de terracerías.

En el caso de las capas de terracerías, y debido a la falta de información, los módulos de estas capas (terreno de desplante, subyacente y subrasante) se estimaron con la fórmula que se aplica en la Guía de Diseño de Pavimentos Empírico-Mecanicista (*Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*, MEPDG) AASHTO 2002.

$$Mr = 2.555(CBR)^{0.64}$$

donde:

Mr= Módulo Resiliente (psi).

CBR= California Bearing Ratio (porcentaje).

Los datos estimados de las características de las capas de terracerías se muestran en la Tabla 3.

5. Capas de pavimento.

Como se mencionó anteriormente, cada una de las capas que integra el pavimento cumple con una función específica para resistir las sollicitaciones de tráfico y los

efectos del medio ambiente, por lo que cada una debe de cumplir con características especiales. Las calidades de estas capas (capa asfáltica resistente a la fatiga y capa de alto módulo) se determinan por medio de pruebas de módulos dinámicos y leyes de fatiga. Los módulos dinámicos se obtienen mediante el procedimiento descrito en la norma AASHTO TP 62-07 y las pruebas de fatiga en vigas a flexión en cuatro puntos conforme a lo indicado en la norma AASHTO T 321.

Para el presente diseño se estimaron los módulos dinámicos a través de la aplicación de materiales dentro del programa MEPDG, en el se introducen datos del material pétreo, ligantes y de la mezcla. El resultado final es la curva maestra estimada, donde se observa el comportamiento de la mezcla definido por el valor de su módulo ante diferentes temperaturas y frecuencias de aplicación de la carga. Los datos requeridos por el programa fueron obtenidos de la base de datos de diseños previos con los agregados pétreos del banco Matrimar, localizado en el municipio de Cerralvo. Los materiales de este banco fueron los propuestos para ser empleados en la elaboración de las capas asfálticas del pavimento. En las Figuras 5 y 6 se muestran las curvas maestras obtenidas para la capa de base y capa intermedia.

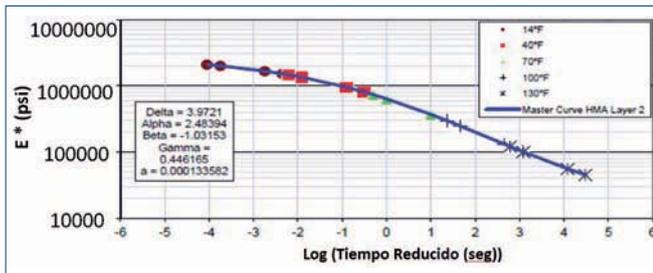


Figura 5. Curva maestra estimada para la capa absorbidora de tensión.

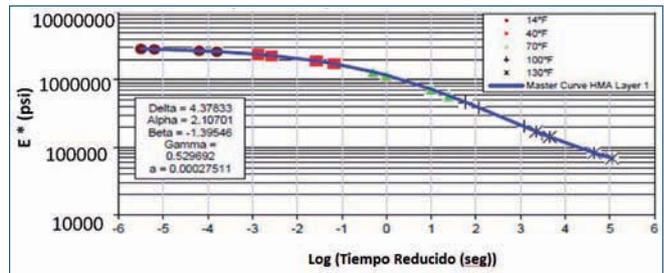


Figura 6. Curva maestra estimada para la capa intermedia de alto módulo.

6. Determinación de la estructura del pavimento

Para este proyecto se consideró la utilización de tres programas de diseño, el PerRoad, desarrollado por el Centro Nacional de Tecnología del Asfalto (*National Center for Asphalt Technology, NCAT*), el DISPAV-5, elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y el DAMA, del Instituto del Asfalto. Los tres métodos utilizados en el diseño tienen una base de análisis empírico-mecanicista, tomando en cuenta criterios de fallo debidos a agrietamientos por fatiga y deformaciones permanentes, evaluando las propiedades de los materiales en relación a sus módulos. Sin embargo, la confiabilidad de cada uno es función de la forma en que incorpora el tránsito, las propiedades de los materiales y sus variaciones de acuerdo a las condiciones climáticas, además de los modelos adoptados para los criterios de fallo.

Cada método utilizado tiene ventajas e inconvenientes, de acuerdo a cómo incorpora las variables de diseño al análisis de la estructura propuesta. A continuación se mencionan algunos aspectos clave para seleccionar la estructura final del diseño.

El PerRoad es un software con unas características innovadoras ya que permite limitar los esfuerzos, deformaciones y deflexiones para analizar la estructura, sin embargo, la desventaja de este método es la poca experiencia adquirida, debido principalmente a que ha sido desarrollado hace poco tiempo, por lo que, su confiabilidad dependerá del desempeño que presenten a través de los años los pavimentos diseñados con él.

Una de las ventajas, para México, del DISPAV-5 es que fue desarrollado por investigadores mexicanos, que utilizaron materiales y prácticas locales para fundamentar los criterios de fallo incorporados en el programa. Por otro lado, una de sus principales desventajas para el desarrollo de sus modelos de fallo es que se utilizó un número limitado de materiales que no representan la amplia variedad que existe en México; otra de ellas, y quizá la más importante en el análisis empírico-mecanicista, es que no permite modificar los parámetros de fallo a las condiciones de los materiales empleados en el diseño.

Del método del Instituto del Asfalto, sus principales atributos son la incorporación de las condiciones climáticas, para conocer como varía el comportamiento de los materiales a lo largo del año; permite incorporar de tres formas distintas las propiedades de los materiales, además de contar con una rutina que permite estimar los módulos en las capas asfálticas y modificar las constantes de la leyes de fatiga en base a pruebas de laboratorio. Su principal desventaja es la forma en la que analiza las cargas del tráfico, ya que incorpora un modelo de daño acumulado mensual sin tener en

cuenta la tasa de crecimiento que éste puede tener en el periodo de diseño.

Para este caso se decidió emplear el diseño elaborado con el programa DAMA que arrojó los resultados que se muestran en la Figura 7.

7. Diseño de la mezcla asfáltica para la capa absorbidora de tensión

La capa absorbidora de tensión debe diseñarse para resistir el agrietamiento por fatiga de flexión bajo las cargas repetidas del tráfico. Para ello se considera que deben diferenciarse de una mezcla convencional en utilizar un ligante más flexible. El ligante utilizado fue un PG 76 -22 modificado con polímero tipo SB y con un promotor de adherencia, el cual posee características que le permiten a la mezcla tener una menor susceptibilidad térmica y un mayor rango elástico, aumentando considerablemente la resistencia a la fatiga. Además, se considera un mayor contenido de asfalto en la mezcla. La mezcla es diseñada en laboratorio con un contenido de 3 % de vacíos de aire, teniendo un incremento en el contenido de asfalto en comparación con el diseño de una mezcla convencional.



Figura 7. Estructura de pavimento de diseño.

2. DISEÑO DE CAPA ABSORBEDORA DE TENSIÓN

CLIENTE: SCT DE NUEVO LEÓN PROYECTO: LIBRAMIENTO DE DR. GONZÁLEZ UBICACIÓN: DR. GONZÁLEZ, NUEVO LEÓN		Fecha del reporte: 4/12/2011 No. de estudio: AGO-037-HMA-11 Fecha de ensayo: 4/11/2011																																																																																																															
Granulometría del material(es) ASTM C 136 Banco: MATRIMAR																																																																																																																	
No. Control:		<table border="1"> <tr> <td>Máximo</td> <td>Máximo</td> <td>Máximo</td> </tr> <tr> <td>AGO-037-HMA-11</td> <td>AGO-038-HMA-11</td> <td>AGO-039-HMA-11</td> </tr> </table>	Máximo	Máximo	Máximo	AGO-037-HMA-11	AGO-038-HMA-11	AGO-039-HMA-11	Granulometría propuesta																																																																																																								
Máximo	Máximo	Máximo																																																																																																															
AGO-037-HMA-11	AGO-038-HMA-11	AGO-039-HMA-11																																																																																																															
Descripción del material:		<table border="1"> <tr> <td>Arena #4</td> <td>Sello 1/2"</td> <td>Grava No. 2</td> </tr> </table>	Arena #4	Sello 1/2"	Grava No. 2																																																																																																												
Arena #4	Sello 1/2"	Grava No. 2																																																																																																															
Proporción final.		<table border="1"> <tr> <td>25%</td> <td>30%</td> <td>45%</td> </tr> </table>	25%	30%	45%																																																																																																												
25%	30%	45%																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Malla</th> <th rowspan="2">Abertura en mm.</th> <th colspan="3">% que pasa.</th> <th colspan="3">Puntos de control para T.N de 25.0 mm.</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th>Min</th> <th></th> <th>Máx.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>37.500</td> <td>100.0</td> <td>100.0</td> <td>100.0</td> <td>100.0</td> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>25.000</td> <td>100.0</td> <td>100.0</td> <td>99.3</td> <td>99.7</td> <td>90</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>19.000</td> <td>100.0</td> <td>100.0</td> <td>70.6</td> <td>86.8</td> <td></td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>12.500</td> <td>100.0</td> <td>97.6</td> <td>7.0</td> <td>57.4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9.500</td> <td>100.0</td> <td>82.2</td> <td>0.9</td> <td>44.1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 4</td> <td>4.750</td> <td>99.7</td> <td>10.2</td> <td>0.4</td> <td>28.2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 8</td> <td>2.360</td> <td>83.2</td> <td>1.1</td> <td>0.4</td> <td>21.3</td> <td>19</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>No. 16</td> <td>1.180</td> <td>55.6</td> <td>0.9</td> <td>0.4</td> <td>14.3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 30</td> <td>0.600</td> <td>35.0</td> <td>0.7</td> <td>0.4</td> <td>9.1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 50</td> <td>0.300</td> <td>21.7</td> <td>0.5</td> <td>0.4</td> <td>5.7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 100</td> <td>0.150</td> <td>14.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>3.8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 200</td> <td>0.075</td> <td>10.5</td> <td>0.1</td> <td>0.3</td> <td>2.8</td> <td>1</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>				Malla	Abertura en mm.	% que pasa.			Puntos de control para T.N de 25.0 mm.						Min		Máx.	1 1/2"	37.500	100.0	100.0	100.0	100.0	100		1"	25.000	100.0	100.0	99.3	99.7	90	100	3/4"	19.000	100.0	100.0	70.6	86.8		90	1/2"	12.500	100.0	97.6	7.0	57.4			3/8"	9.500	100.0	82.2	0.9	44.1			No. 4	4.750	99.7	10.2	0.4	28.2			No. 8	2.360	83.2	1.1	0.4	21.3	19	45	No. 16	1.180	55.6	0.9	0.4	14.3			No. 30	0.600	35.0	0.7	0.4	9.1			No. 50	0.300	21.7	0.5	0.4	5.7			No. 100	0.150	14.3	0.3	0.3	3.8			No. 200	0.075	10.5	0.1	0.3	2.8	1	7
Malla	Abertura en mm.	% que pasa.				Puntos de control para T.N de 25.0 mm.																																																																																																											
					Min		Máx.																																																																																																										
1 1/2"	37.500	100.0	100.0	100.0	100.0	100																																																																																																											
1"	25.000	100.0	100.0	99.3	99.7	90	100																																																																																																										
3/4"	19.000	100.0	100.0	70.6	86.8		90																																																																																																										
1/2"	12.500	100.0	97.6	7.0	57.4																																																																																																												
3/8"	9.500	100.0	82.2	0.9	44.1																																																																																																												
No. 4	4.750	99.7	10.2	0.4	28.2																																																																																																												
No. 8	2.360	83.2	1.1	0.4	21.3	19	45																																																																																																										
No. 16	1.180	55.6	0.9	0.4	14.3																																																																																																												
No. 30	0.600	35.0	0.7	0.4	9.1																																																																																																												
No. 50	0.300	21.7	0.5	0.4	5.7																																																																																																												
No. 100	0.150	14.3	0.3	0.3	3.8																																																																																																												
No. 200	0.075	10.5	0.1	0.3	2.8	1	7																																																																																																										
Propiedades físicas del material																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>Requerimientos Protocolo AMAAC (en función del tipo de capa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso volumétrico seco suelto [Kg /m3] (ASTM C29)</td> <td>1592.0</td> <td>1465.6</td> <td>1438.5</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Equivalente de Arena, % (ASTM D 2419)</td> <td>87.1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>50 mín.</td> </tr> <tr> <td>Angularidad del agregado fino, % (AASHTO T-304)</td> <td>42.9</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>40 mín.</td> </tr> <tr> <td>Azul de metileno ml/g (Rec. AMAAC RA-05/2008)</td> <td>3.0</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>15 máx.</td> </tr> <tr> <td>Desgaste de Los Angeles, % (ASTM C 131)</td> <td>-</td> <td>24.0</td> <td>29.0</td> <td>30 máx.</td> </tr> <tr> <td>Desgaste MicroDeval, % (AASHTO T327/ ASTM D 6928)</td> <td>-</td> <td>11.5</td> <td>8.1</td> <td>18 máx.</td> </tr> <tr> <td>Interperismo acelerado, % (AASHTO T 104 / ASTM C88)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Caras fracturadas (2 caras o más) % (ASTM D 5821)</td> <td>-</td> <td>78.3</td> <td>78.9</td> <td>90 mín.</td> </tr> <tr> <td>Partículas alargadas, 3:1 % (ASTM D4791)</td> <td>-</td> <td>27.4</td> <td>23.4</td> <td>15 máx.</td> </tr> <tr> <td>Partículas lajeadas, 3:1 % (ASTM D4791)</td> <td>-</td> <td>27.4</td> <td>23.4</td> <td>15 máx.</td> </tr> <tr> <td>Adherencia con el asfalto, % cubrimiento (Rec. AMAAC RA-08/2008)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>90 mín.</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Específica Bruta del agregado Grueso, Gsb (ASTM-C-127)</td> <td>-</td> <td>2.7</td> <td>2.7</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Específica Bruta del agregado fino, Gsb (ASTM C-128)</td> <td>2.6</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Específica bruta combinada, Gsb</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>2.650</td> </tr> <tr> <td>Absorción del agregado Grueso, % (ASTM C-127)</td> <td>-</td> <td>0.5</td> <td>0.4</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Absorción del agregado Fino, % (ASTM C-128)</td> <td>2.0</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Absorción Combinada, %</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0.57</td> </tr> </tbody> </table>								Requerimientos Protocolo AMAAC (en función del tipo de capa)	Peso volumétrico seco suelto [Kg /m3] (ASTM C29)	1592.0	1465.6	1438.5	-	Equivalente de Arena, % (ASTM D 2419)	87.1	-	-	50 mín.	Angularidad del agregado fino, % (AASHTO T-304)	42.9	-	-	40 mín.	Azul de metileno ml/g (Rec. AMAAC RA-05/2008)	3.0	-	-	15 máx.	Desgaste de Los Angeles, % (ASTM C 131)	-	24.0	29.0	30 máx.	Desgaste MicroDeval, % (AASHTO T327/ ASTM D 6928)	-	11.5	8.1	18 máx.	Interperismo acelerado, % (AASHTO T 104 / ASTM C88)	-	-	-	-	Caras fracturadas (2 caras o más) % (ASTM D 5821)	-	78.3	78.9	90 mín.	Partículas alargadas, 3:1 % (ASTM D4791)	-	27.4	23.4	15 máx.	Partículas lajeadas, 3:1 % (ASTM D4791)	-	27.4	23.4	15 máx.	Adherencia con el asfalto, % cubrimiento (Rec. AMAAC RA-08/2008)	-	-	-	90 mín.	Gravedad Específica Bruta del agregado Grueso, Gsb (ASTM-C-127)	-	2.7	2.7	-	Gravedad Específica Bruta del agregado fino, Gsb (ASTM C-128)	2.6	-	-	-	Gravedad Específica bruta combinada, Gsb	-	-	-	2.650	Absorción del agregado Grueso, % (ASTM C-127)	-	0.5	0.4	-	Absorción del agregado Fino, % (ASTM C-128)	2.0	-	-	-	Absorción Combinada, %	-	-	-	0.57																				
				Requerimientos Protocolo AMAAC (en función del tipo de capa)																																																																																																													
Peso volumétrico seco suelto [Kg /m3] (ASTM C29)	1592.0	1465.6	1438.5	-																																																																																																													
Equivalente de Arena, % (ASTM D 2419)	87.1	-	-	50 mín.																																																																																																													
Angularidad del agregado fino, % (AASHTO T-304)	42.9	-	-	40 mín.																																																																																																													
Azul de metileno ml/g (Rec. AMAAC RA-05/2008)	3.0	-	-	15 máx.																																																																																																													
Desgaste de Los Angeles, % (ASTM C 131)	-	24.0	29.0	30 máx.																																																																																																													
Desgaste MicroDeval, % (AASHTO T327/ ASTM D 6928)	-	11.5	8.1	18 máx.																																																																																																													
Interperismo acelerado, % (AASHTO T 104 / ASTM C88)	-	-	-	-																																																																																																													
Caras fracturadas (2 caras o más) % (ASTM D 5821)	-	78.3	78.9	90 mín.																																																																																																													
Partículas alargadas, 3:1 % (ASTM D4791)	-	27.4	23.4	15 máx.																																																																																																													
Partículas lajeadas, 3:1 % (ASTM D4791)	-	27.4	23.4	15 máx.																																																																																																													
Adherencia con el asfalto, % cubrimiento (Rec. AMAAC RA-08/2008)	-	-	-	90 mín.																																																																																																													
Gravedad Específica Bruta del agregado Grueso, Gsb (ASTM-C-127)	-	2.7	2.7	-																																																																																																													
Gravedad Específica Bruta del agregado fino, Gsb (ASTM C-128)	2.6	-	-	-																																																																																																													
Gravedad Específica bruta combinada, Gsb	-	-	-	2.650																																																																																																													
Absorción del agregado Grueso, % (ASTM C-127)	-	0.5	0.4	-																																																																																																													
Absorción del agregado Fino, % (ASTM C-128)	2.0	-	-	-																																																																																																													
Absorción Combinada, %	-	-	-	0.57																																																																																																													
Recomendación Protocolo AMAAC, para compactación a 100 giros (Ndis):																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Valor</th> <th>Requerimiento Protocolo AMAAC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo de asfalto usado.</td> <td>Stylink</td> <td>PG 76 -22</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de mezclado, ° C.</td> <td>175</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de compactación, ° C.</td> <td>165</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Contenido de Asfalto con Respecto a la Mezcla, %</td> <td>4.2</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Contenido de Asfalto con Respecto al Agregado, %</td> <td>4.4</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Contenido de vacíos de aire, Va %</td> <td>3.0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Vacios en el Agregado Mineral, VAM %</td> <td>10.95</td> <td>12 mín.</td> </tr> <tr> <td>Vacios llenos de asfalto, VFA %</td> <td>74.8</td> <td>65 - 78</td> </tr> <tr> <td>Relación filler - asfalto.</td> <td>0.84</td> <td>0.6 - 1.2</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica bruta de la mezcla compacta, Gmb.</td> <td>2.457</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica teórica máxima de la mezcla suelta, Gmm.</td> <td>2.530</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Verificación, %Gmm @ Nmáx. (160 giros)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>% Gmm</td> <td>99</td> <td>≤ 98</td> </tr> </tbody> </table>			Valor	Requerimiento Protocolo AMAAC	Tipo de asfalto usado.	Stylink	PG 76 -22	Temperatura de mezclado, ° C.	175	-	Temperatura de compactación, ° C.	165	-	Contenido de Asfalto con Respecto a la Mezcla, %	4.2	-	Contenido de Asfalto con Respecto al Agregado, %	4.4	-	Contenido de vacíos de aire, Va %	3.0	-	Vacios en el Agregado Mineral, VAM %	10.95	12 mín.	Vacios llenos de asfalto, VFA %	74.8	65 - 78	Relación filler - asfalto.	0.84	0.6 - 1.2	Gravedad específica bruta de la mezcla compacta, Gmb.	2.457	-	Gravedad específica teórica máxima de la mezcla suelta, Gmm.	2.530	-	Verificación, %Gmm @ Nmáx. (160 giros)			% Gmm	99	≤ 98	Pruebas de susceptibilidad a la humedad y deformación permanente <table border="1"> <tr> <td>TSR, %</td> <td>83</td> <td>80 mín.</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Prueba de Rueda Cargada de Hamburgo.</td> </tr> <tr> <td>Deformación, mm:</td> <td>7.0</td> <td>10 máx.</td> </tr> <tr> <td>No. Pasadas</td> <td>20000</td> <td>20000</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Observaciones:</td> </tr> </table>		TSR, %	83	80 mín.	Prueba de Rueda Cargada de Hamburgo.			Deformación, mm:	7.0	10 máx.	No. Pasadas	20000	20000	Observaciones:																																																							
	Valor	Requerimiento Protocolo AMAAC																																																																																																															
Tipo de asfalto usado.	Stylink	PG 76 -22																																																																																																															
Temperatura de mezclado, ° C.	175	-																																																																																																															
Temperatura de compactación, ° C.	165	-																																																																																																															
Contenido de Asfalto con Respecto a la Mezcla, %	4.2	-																																																																																																															
Contenido de Asfalto con Respecto al Agregado, %	4.4	-																																																																																																															
Contenido de vacíos de aire, Va %	3.0	-																																																																																																															
Vacios en el Agregado Mineral, VAM %	10.95	12 mín.																																																																																																															
Vacios llenos de asfalto, VFA %	74.8	65 - 78																																																																																																															
Relación filler - asfalto.	0.84	0.6 - 1.2																																																																																																															
Gravedad específica bruta de la mezcla compacta, Gmb.	2.457	-																																																																																																															
Gravedad específica teórica máxima de la mezcla suelta, Gmm.	2.530	-																																																																																																															
Verificación, %Gmm @ Nmáx. (160 giros)																																																																																																																	
% Gmm	99	≤ 98																																																																																																															
TSR, %	83	80 mín.																																																																																																															
Prueba de Rueda Cargada de Hamburgo.																																																																																																																	
Deformación, mm:	7.0	10 máx.																																																																																																															
No. Pasadas	20000	20000																																																																																																															
Observaciones:																																																																																																																	

Figura 8a. Diseño de capa absorbidora de tensión.

En la curva granulométrica propuesta el tamaño máximo nominal con el que se realizó el diseño fue de 1" (25 mm); con esta distribución granulométrica se obtiene una curva bien graduada además de ayudar a aumentar el contenido de vacíos y por consecuencia incrementar el contenido de asfalto en la mezcla. En referencia a las propiedades volumétricas evaluadas en el diseño de la mezcla, tenemos que con un contenido de asfalto del 4,2 % con respecto a la mezcla, se cumple con el criterio establecido del 3 % de vacíos.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los parámetros volumétricos de la mezcla diseñada, se observa que los Vacíos en el Agregado

Mineral (VAM) se encuentran fuera del límite especificado, por lo que es necesario analizar cómo influiría este criterio en el desempeño de la mezcla. El propósito de especificar un VAM mínimo es asegurar un espesor de película de asfalto en una granulometría definida, para que contribuya a la durabilidad de la mezcla. Sin embargo, este criterio aplica en el diseño de mezclas densas, generalmente con un contenido de 4 % de vacíos de aire, diferente al diseño de la capa absorbidora de tensión, donde se diseña para un 3 % de vacíos de aire, lo cual aumenta el contenido de asfalto, el espesor de película y la durabilidad de la mezcla. Por esta razón, tener un valor de VAM por debajo del criterio

mínimo se consideró que no afectaría el desempeño de la mezcla. Para justificar este criterio se recurrió a distintos parámetros como el espesor efectivo de película de asfalto, el cual se calcula en función del contenido efectivo de asfalto y el área superficial del agregado, determinada a partir de la granulometría y los factores superficiales de área. El valor obtenido de espesor efectivo de asfalto fue de 12,5 micras, superando el mínimo sugerido de 8 micras. Otro de los parámetros evaluados fue el ensayo de susceptibilidad al daño inducido por humedad (TSR), obteniéndose un valor por encima del mínimo especificado. En la Figura 8 se observan los resultados obtenidos en el laboratorio.

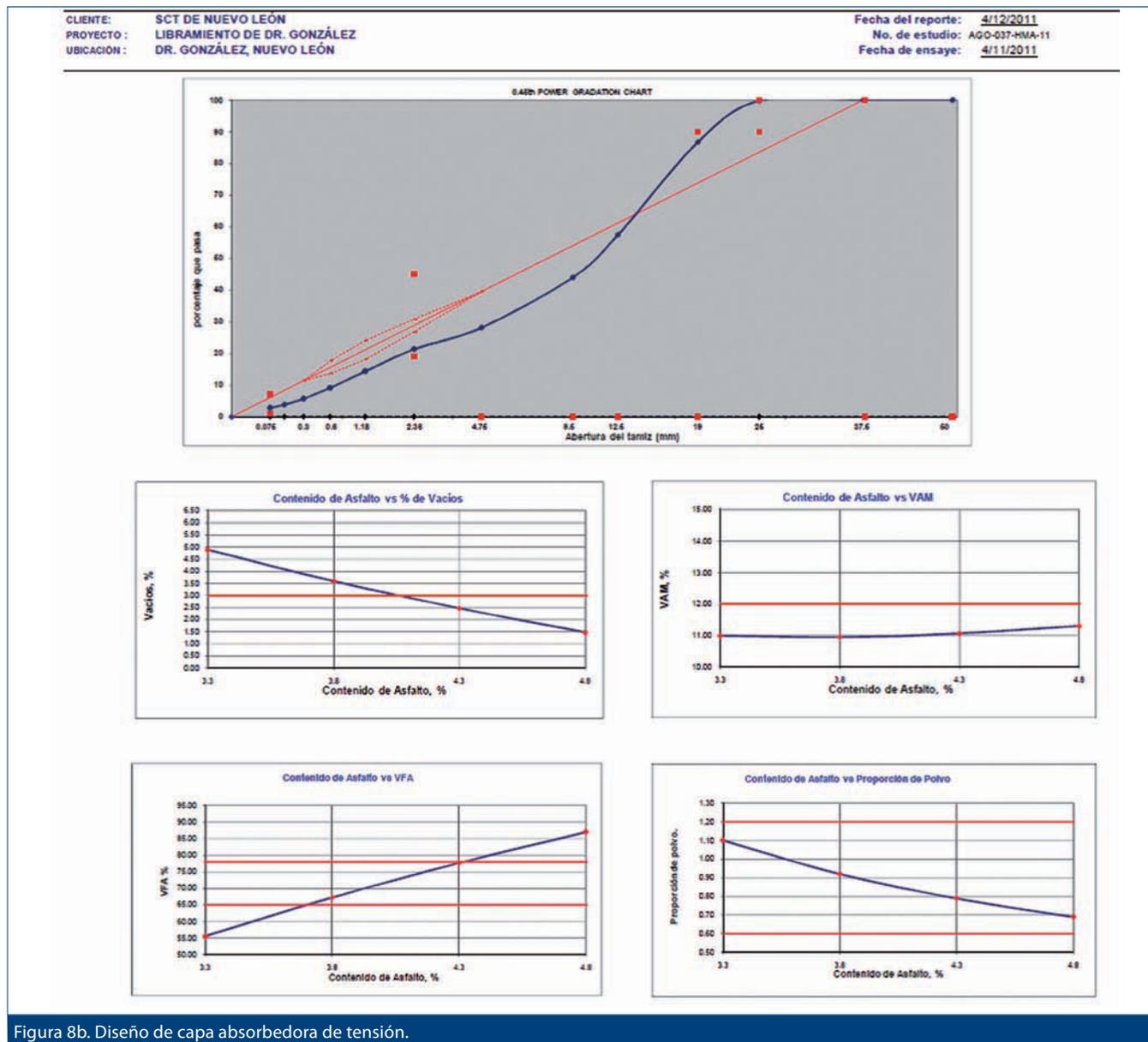


Figura 8b. Diseño de capa absorbadora de tensión.

El procedimiento adoptado para evaluar la vida a fatiga de la capa absorbadora de tensión se desarrolló conforme a los protocolos incluidos en las normas AASHTO T 321- 07 y ASTM 7460-10; por otro lado, debido a que este tipo de capa tendrá que cumplir con la función específica de mitigar el deterioro por fatiga, se adoptaron en el diseño las recomendaciones emitidas en el reporte NCHRP 646 "Validación del Límite de Endurecimiento de Fatiga para Mezclas Asfálticas". La obtención de la ley de fatiga (Figura 9) para la mezcla asfáltica en estudio, consistió en someter vigas fabricadas en laboratorio a una deformación constante (expresada en microdeformaciones, $\mu\epsilon$), a una temperatura de 20 °C. Variando los niveles de deformación

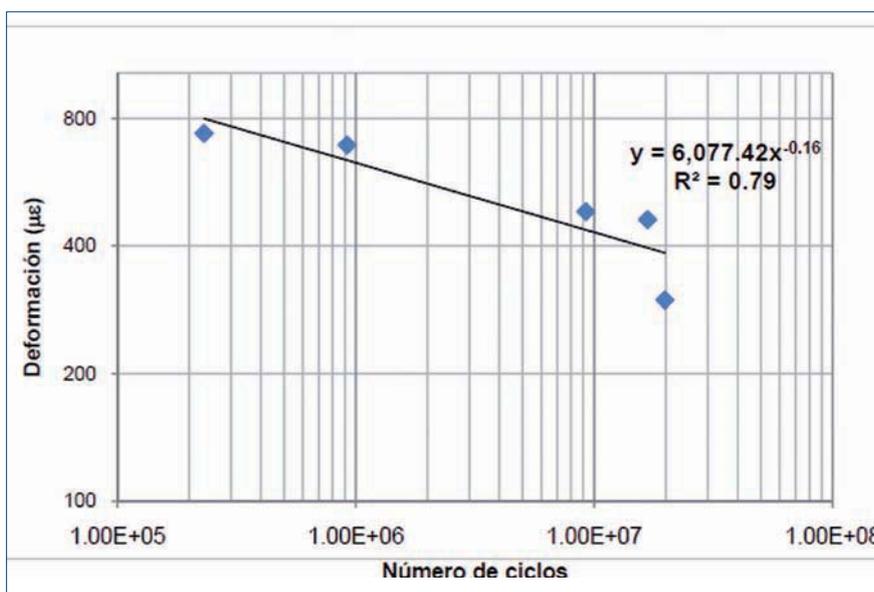


Figura 9. Ley de fatiga obtenida para la capa absorbadora de tensión.

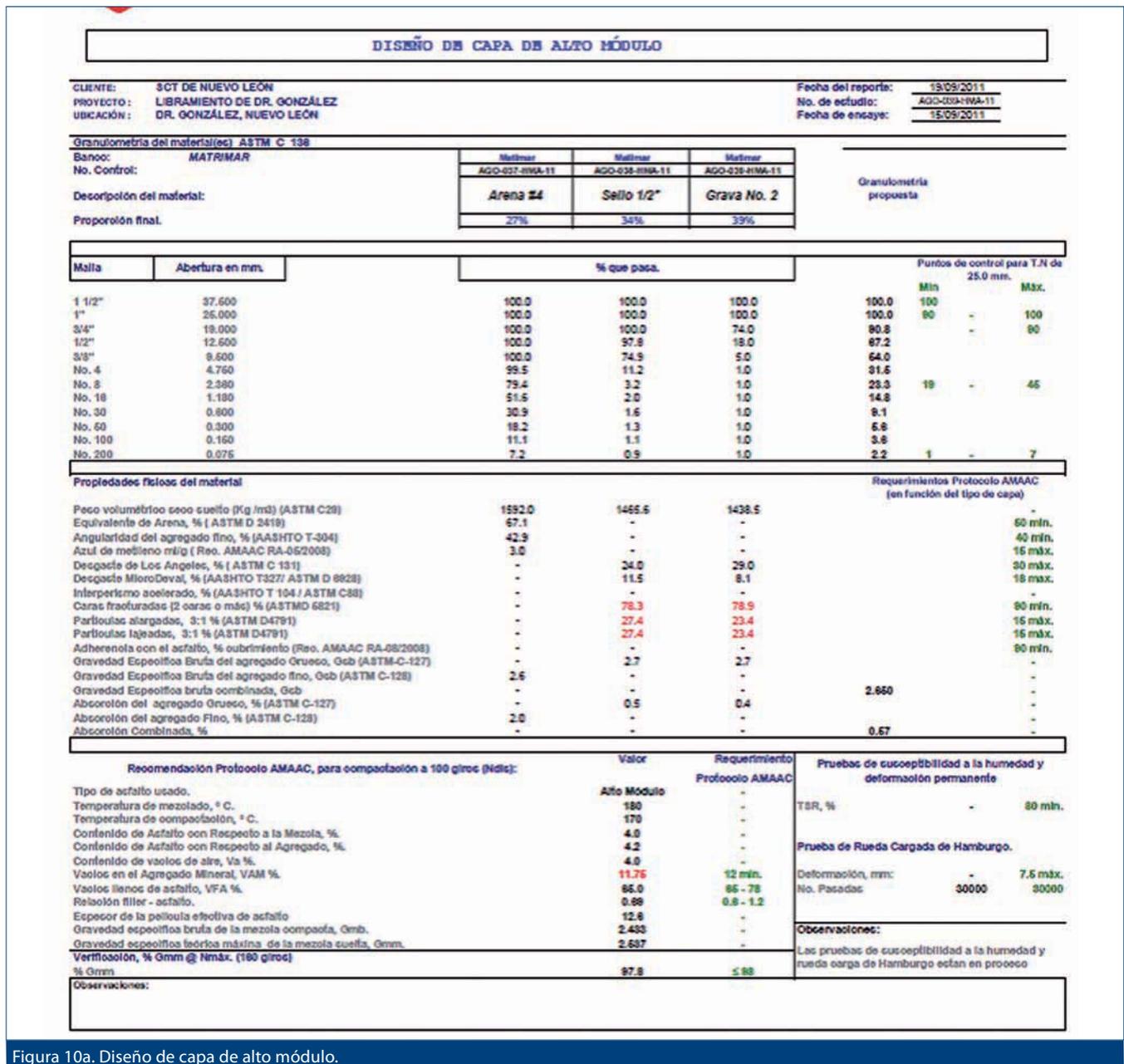


Figura 10a. Diseño de capa de alto módulo.

para cada grupo de probeta y así, obtener el número de ciclos hasta fallo de cada viga. El fallo de la probeta se define como el número de repeticiones de carga en el que se reduce en un 50% la rigidez inicial, obtenida generalmente después de 50 ciclos de ensayo. El diseño de una mezcla suele implicar la búsqueda iterativa de una combinación económica de los materiales que cumplan los requisitos de desempeño y al mismo tiempo reducir al mínimo el riesgo de un fallo prematuro. En esencia, se espera que una mezcla se comporte satisfactoriamente si el número de repeticiones de carga aplicadas en laboratorio supera el número de repeticiones de

carga previsto en el diseño estructural.

En el caso de la capa absorbidora de tensión se consideró en el diseño del pavimento un nivel de deformación de 100 ± 25 microdeformaciones ($\mu\epsilon$), por lo que, de acuerdo a la ley de fatiga obtenida en laboratorio para este nivel de deformación, se observa que el número de ciclos hasta fallo supera las $1,0 \times 10^9$ repeticiones de carga. Por otro lado, de acuerdo a la información recopilada de los datos viales emitidos por la Dirección General de Servicios Técnicos, se llevó a cabo la estimación del nivel de tránsito esperado en el carril de diseño, de donde se obtuvo un valor de $75,0 \times 10^6$ ESALS.

8. Diseño de la mezcla asfáltica para la capa de alto módulo

La capa de alto módulo debe diseñarse para resistir las deformaciones plásticas a través de buenos agregados, que permitan obtener un adecuado esqueleto mineral, y un ligante especial de manera que la mezcla tenga una buena resistencia interna, que le permita soportar los esfuerzos generados por las cargas del tráfico sin permitir deformaciones apreciables. El módulo dinámico obtenido mediante el procedimiento descrito en la norma AASHTO TP 62-07 debe ser superior a los 10.000 MPa considerados en el

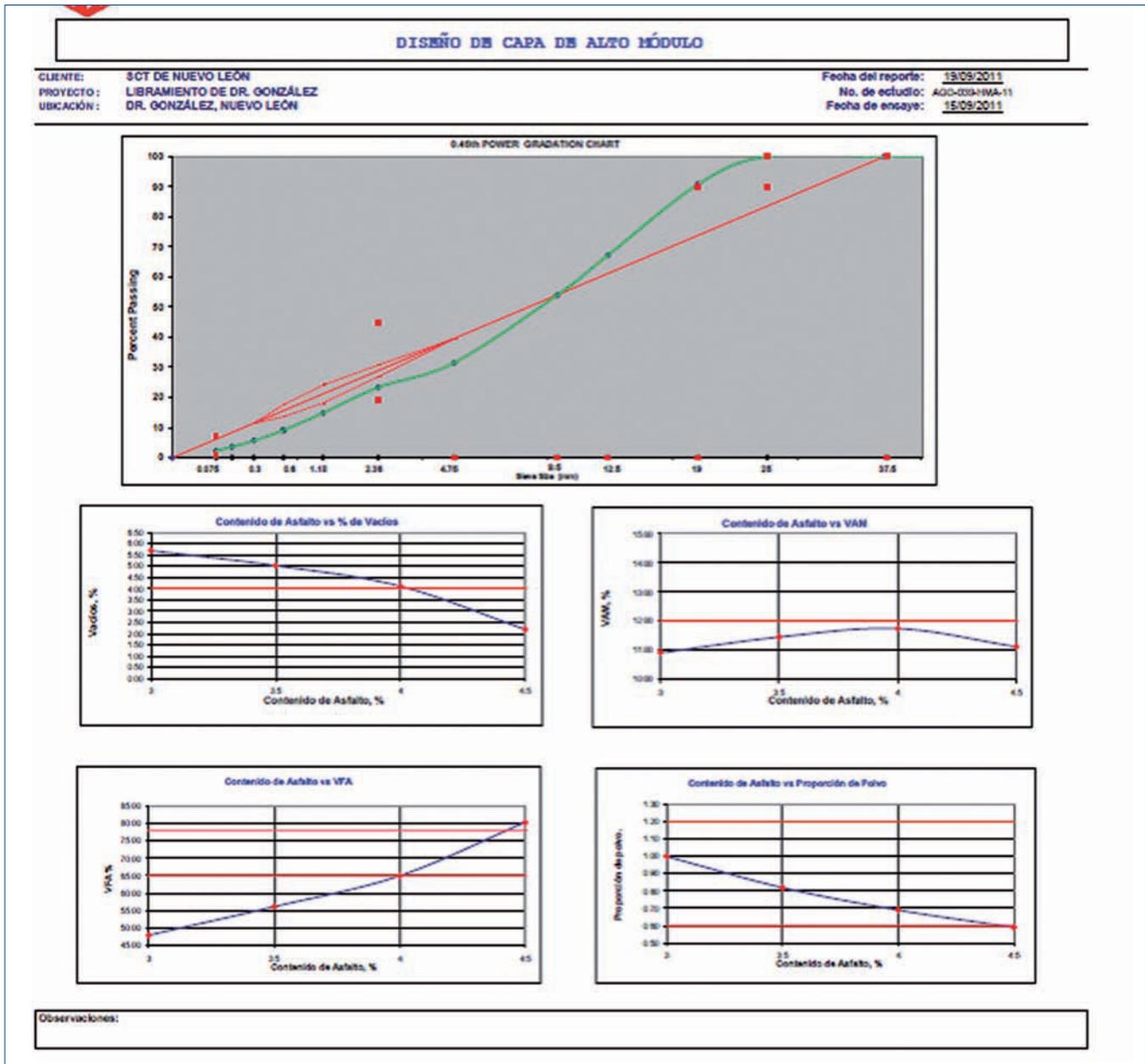


Figura 10b. Diseño de capa de alto módulo.

diseño estructural. En la curva granulométrica propuesta el tamaño máximo nominal con el que se realizó el diseño fue de 3/4" (19 mm), con esta distribución granulométrica se obtiene una curva bien graduada, con buen esqueleto mineral. En la Figura 10 se observan los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados para el diseño. En la Tabla 4 se recojen las características del ligante empleado en esta capa.

9. Conclusiones

La construcción de esta carretera se llevó a cabo en el año de 2011. Los resultados obtenidos de esta primera

experiencia han sido alentadores, y en el control de calidad se pudo comprobar que las mezclas asfálticas elaboradas en obra obtuvieron resultados superiores a los solicitados por el diseño. En la Tabla 5 puede observarse un resumen de los resultados obtenidos de la CAT. Asimismo en la Figura 11 se muestran los resultados de los módulos obtenidos para la CAM.

A fin de conocer la respuesta estructural que ha tenido la estructura del PLD se llevaron a cabo mediciones con deflectómetro de impactos (HWD) en 2013. Las figuras 12 y 13 muestran los resultados de las deflexiones máximas obtenidos por el equipo. La

deflexión máxima nos da un indicador del estado general del pavimento. Se espera que para un pavimento asfáltico nuevo las deflexiones sean menores a 300 micras para considerar que tiene un buen comportamiento; entre 300 y 600 micras para un comportamiento regular y arriba de 600 como malo. En este caso los valores medios obtenidos se encuentran entre las 83 y 93 micras lo cual se considera muy bueno.

Los resultados obtenidos hasta ahora han sido alentadores lo que ha propiciado que se haya recurrido a este tipo de estructura en al menos estos otros 6 proyectos: Carretera Monterrey-Reynosa (terminado), Línea 5 del Metrobús,

Rutas Divulgación

Tabla 4. Características del ligante de la capa de alto módulo.

Parámetros de calidad	AC-HMR-VA
Clasificación	
Viscosidad rotacional Brookfield, 135 °C, Pa s	máx. 4
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s, 10 ⁻¹ mm	15 - 40
Punto de reblandecimiento, °C	mín. 65
Punto de inflamación Cleveland, °C	mín. 230
Módulo de corte reológico G*/sen δ, 88 °C	mín. 1,0
Pruebas al residuo de película delgada	
Pérdida por calentamiento a 163 °C, %	máx. 1
Diferencia en reblandecimiento después de RTFO, °C	máx. 8

Tabla 4. Características del ligante de la capa de alto módulo.

Parámetros de calidad	AC-HMR-VA
Vacíos en la mezcla, %	3
Susceptibilidad al daño inducido por humedad (TSR), %	≥ 80
Susceptibilidad la deformación permanente en Rueda cargada de Hamburgo (20 000 pasadas), mm	10 max.
Módulo Dinámico E* , 20 °C, 10 Hz, MPa	≥ 4 000
Ley de fatiga a 20 °C, 10 Hz, @ 120 (ε10 ⁻⁶)	≥ ESAL's
Grado de compactación (con respecto al Gmm), %	97

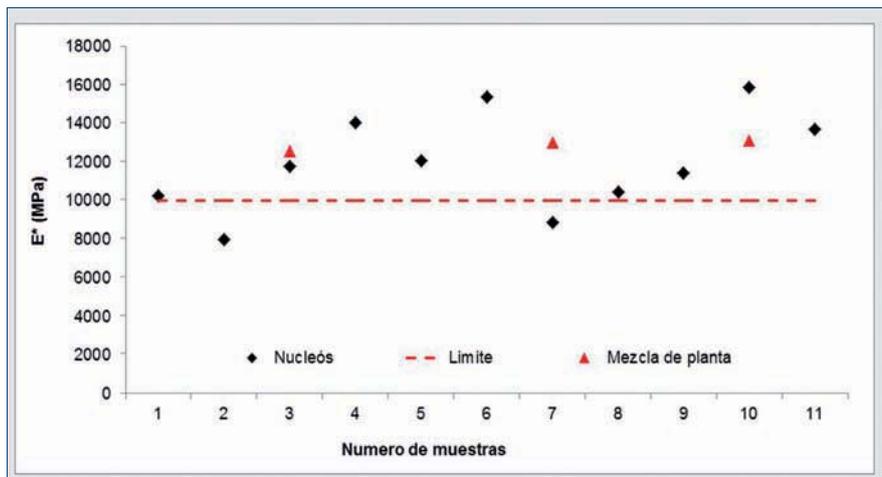


Figura 11. Módulos de la capa de alto módulo.

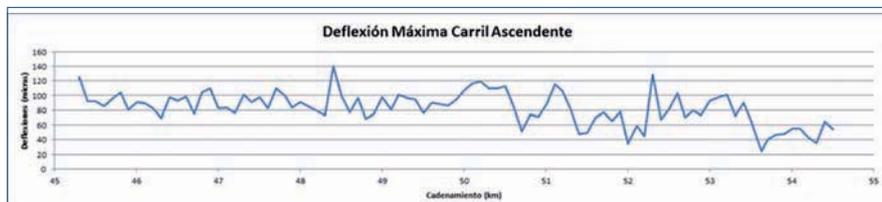


Figura 12. Deflexión máxima carril ascendente.

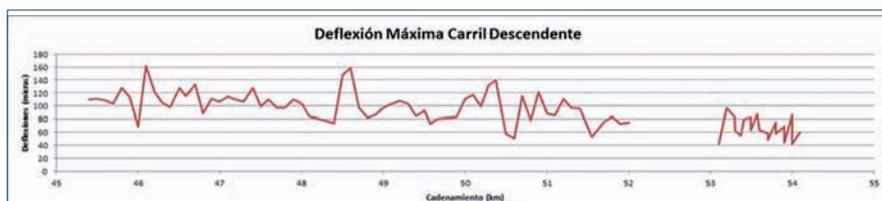


Figura 13. Deflexión máxima carril descendente.

Ciudad de México (terminado), Modernización Autopista México -Puebla (en proceso), Rehabilitación Autopista Durango - Mazatlán (por iniciar), Rehabilitación Autopista Querétaro - Irapuato (por iniciar) y Línea 6 del Metrobús, Ciudad de México (por iniciar).

10. Bibliografía

- [1] SERMENT GUERRERO, V. A.; HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, N. (2012) "Análisis de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas para el diseño integral de pavimentos". Primeros pasos hacia un pavimento perpetuo en el Estado de Nuevo León.
- [2] CINCIRE ROMERO V. (2012). "Capas delgadas de rodadura en caliente, experiencia en México". El reto del cambio del estado de la práctica actual al estado del arte.
- [3] COMMITTEE ON GENERAL ISSUES IN ASPHALT TECHNOLOGY (2001). "Perpetual bituminous pavements". Transportation Research Circular, number 503.
- [4] ASPHALT PAVEMENT ALLIANCE (2010). "Perpetual Asphalt Pavements, a Synthesis". America Rides on US Asphalt.
- [5] CINCIRE ROMERO V; HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, N. (2012) "Pavimentos de larga duración". Caso de estudio: Libramiento Dr. Gonzalez, N.L., México.
- [6] SANTIAGO CORRO C.; GUILLERMO PRADO O. "Diseño estructural de pavimentos asfálticos, incluyendo carreteras de altas especificaciones". DISPAV-5 - VERSIÓN 2.0.
- [7] NATIONAL CENTER FOR ASPHALT TECHNOLOGY. "PerRoad".
- [8] ASPHALT INSTITUTE (2005). "User's Guide". SW-1 asphalt pavement thickness design software for highways, airports, heavy wheel loads and other applications.
- [9] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2010). "Report 646: Validating the fatigue endurance limit for hot mix asphalt"
- [10] AASHTO (2002). "Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, MEPDG". ❖



IDEAS QUE
ILUMINAN
UN NUEVO
CAMINO

Borrador de la Norma 3.1-IC Trazado de la Instrucción de Carreteras

Fuencisla Sancho Gómez

*Subdirectora General de Estudios y Proyectos
Dirección General de Carreteras
Ministerio de Fomento*

Fernando Angulo Pellegrero

*Jefe del Servicio de Supervisión de Proyectos de la
Subdirección General de Estudios y Proyectos
Dirección General de Carreteras
Ministerio de Fomento*

Introducción

La vigente Norma 3.1-IC Trazado fue aprobada por Orden 2107 de 27 de diciembre de 1999 (BOE del 2 de febrero de 2000) del Ministro de Fomento, modificada parcialmente por otra Orden de 13 de septiembre de 2001.

Desde entonces, han pasado 13 años de gran actividad en el campo de la consultoría de proyectos, que han servido a la Dirección General de Carreteras, para aplicar en numerosos proyectos de infraestructuras viarias esta Norma y, posteriormente detectar sus fortalezas y debilidades.

Paralelamente nunca se ha dejado de trabajar y crecer en este ámbito, gracias a varios expertos en la materia, tanto de esta Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, como ajenos al mismo, que han estudiado y comparado esta Norma con otras utilizadas en nuestro entorno, sobre todo de la Unión Europea, en donde *a priori* las condiciones exigidas al trazado deberían ser análogas a las españolas.

Es, por tanto, de especial interés conocer qué características actualmente exigidas por la vigente Norma 3.1-IC podrían ser suavizadas, sin detrimento de la seguridad de la circulación, en aras de una reducción de

la inversión ya que hay una serie de aspectos a considerar en el diseño de una carretera, que establecen las condiciones de contorno en las que debe de enmarcarse cualquier actualización de este tipo:

- Las consideraciones económicas, que en el contexto actual están aún más presentes ya que es prioritario optimizar recursos en favor de infraestructuras eficientes.
- Las consideraciones ambientales, que no fueron legisladas hasta la década de los noventa; pero que el incremento que suponen sus costes indirectos asociados a una infraestructura de estas características hace que tenga gran protagonismo y que sean objeto de una evaluación específica (Ley 21/2013) de su afección medioambiental.
- Las óptimas condiciones de seguridad de la circulación, hoy en día ya es un derecho del usuario que obliga al proyectista en el diseño de la infraestructura. La reducción de la accidentalidad y de la siniestralidad en las carreteras ha sido espectacular en los últimos años en muchos países y de forma destacada en el nuestro. El Real Decreto 345/2011 ha hecho obligatoria en España la Directiva 2008/96/CE sobre gestión de la seguridad en las infraestructuras viarias, lo que

ha llevado a la reciente implantación de un procedimiento de auditorías de seguridad vial tanto en la fase de proyecto como durante la construcción y explotación.

Principales novedades del Borrador de la Norma de Trazado

En esta última etapa, hemos procedido a la revisión y actualización de este documento donde quedarán reflejados los requisitos técnicos exigibles al trazado de este tipo de infraestructuras.

Por tanto la nueva Norma de Trazado contemplará las especificaciones de los elementos básicos para el estudio o proyecto de un trazado de carreteras. Sus diferentes capítulos recogerán las condiciones relativas a la planta, al alzado y a la sección transversal, y los criterios generales que deben observarse para obtener la adecuada coordinación entre todos ellos. Un paso más supone incluir criterios para su aplicación a secciones transversales singulares, nudos, conexiones y accesos.

Es objetivo prioritario lograr una homogeneidad de características geométricas tal, que induzca al conductor a circular sin excesivas fluctuaciones de velocidad, en condiciones



A-8 y A-66. Enlace direccional (Asturias).

de comodidad y seguridad. Para ello, se evitarán los puntos en que las características geométricas obliguen a disminuir bruscamente la velocidad y se facilitará la apreciación de las variaciones necesarias de velocidad mediante cambios progresivos de los parámetros geométricos con la ayuda de la señalización.

Las principales novedades de la nueva Norma de Trazado (hoy borrador en tramitación) serán:

- Las velocidades de proyecto (V_p) estarán comprendidas entre 40 y 140 km/h.
- Se incluirá la definición de carretera multicarril, (para tramos urbanos y periurbanos).
- Se adoptará como altura del obstáculo el valor 50 cm. Valores superiores a 20 cm podrán utilizarse de forma justificada.
- Se incorporará la distancia de decisión y la visibilidad de decisión.
- Se introducirá el concepto de recta de longitud limitada entre dos alineaciones curvas.
- Se definirá la consistencia del trazado en planta para carreteras convencionales.
- Se aportarán fórmulas para acuerdos verticales estrictos (en ramales de enlace).
- Se impondrá la necesidad de efectuar para todas las calzadas de una carretera una simulación de la percepción del trazado por el usuario considerando todos los elementos que puedan afectar (explanaciones, señalización, sistemas de contención, apoyos de estructuras, etc.).
- Quedará perfectamente definida la sección transversal de autopistas, autovías, carreteras multicarril, vías colectoras - distribuidoras, ramales de enlace y vías de servicio.
- Se incluirán las condiciones para definir el ancho de las medianas y tercianas.
- La obtención del sobreecho en curvas se hará por procedimientos de simulación teniendo en cuenta el vehículo patrón característico.
- Se hará un análisis de obstáculos en márgenes.
- Se adoptará una nueva tabla para el cálculo de la longitud de los carriles de cambio de velocidad, midiendo su longitud entre las secciones características de 3,50 m y 1,00 m. La longitud de las cuñas iniciales y finales de los carriles de cambio de velocidad será función de la velocidad de proyecto.
- Se adoptará un nuevo carril para adelantamiento en carreteras convencionales.
- Se especificarán las condiciones que deben cumplir las plataformas para vehículos de transporte colectivo.
- Se definirán las condiciones que deben cumplir las paradas para vehículos de transporte colectivo con sus carriles o cuñas de cambio de velocidad y los tipos de carretera en los que pueden implantarse.
- Se incluirán la definición y dimensiones de los apartaderos de conservación y explotación, emergencia y revisión y control de vehículos pesados.
- Se especificarán en carreteras convencionales las condiciones que se deben cumplir los giros a izquierda.
- En el diseño de un nudo se tendrán en cuenta circunstancias ordinarias y extraordinarias. ❖

XII Congreso Internacional de Caminería Hispánica



Acto de inauguración del XII Congreso Internacional de Caminería Hispánica, de izquierda a derecha: D. Manuel García, D. Manuel Criado de Val, D. Juan Antonio Santamera, D. Jacobo Díaz y D. Roberto Alberola.

El Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP) acogió del 24 al 27 de junio el XII Congreso Internacional de Caminería Hispánica, organizado por la Asociación Internacional de Caminería y dirigido por Manuel Criado de Val, doctor en Filosofía y Letras y profesor retirado de la Universidad Complutense de Madrid. Él es el principal impulsor de los estudios de caminería hispánica, así como de los congresos internacionales que se celebran para poner en común las investigaciones que cuentan con importante apoyo internacional.

La Redacción/Madrid

Fotografía: M^a José Sánchez

El pasado martes 24 de junio de 2014 se inauguró en Madrid el XII Congreso Internacional de Caminería Hispánica en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP). Este primer acto sirvió de introducción de los temas que se abordarían en los siguientes cuatro días, durante los cuales tuvo lugar este evento, y en los que se trataron temas que van desde las primeras calzadas descubiertas por arqueólogos a la presentación de la edición digital del tercer volumen del *Atlas de Caminería Hispánica*, pasando por la situación actual de la investigación internacional sobre las calzadas romanas y los caminos reales; además de diferentes

comunicaciones sobre las rutas de los exploradores en el continente americano, las líneas telegráficas o los mapas modernos de caminería romana.

De esta manera, del 24 al 27 de junio se puso de manifiesto cómo los caminos primitivos del hombre constituyeron un factor de progreso fundamental en la sociedad.

El acto de inauguración contó con la presencia del presidente del CICCP, Juan Antonio Santamera; el presidente de la Asociación Técnica de Carreteras, Roberto Alberola; el presidente de la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (Acex), Manuel García y el director general de la Asociación Española de la

Carretera (AEC), Jacobo Díaz. En estas primeras intervenciones se destacó la importancia de los Congresos de Caminería y las aportaciones de ésta al conocimiento de la ingeniería, arquitectura y las humanidades.

Apoysos internacionales y los caminos históricos

Manuel Criado de Val, presidente de la Asociación Internacional de Caminería y doctor en Filosofía y Letras presentó el Congreso. Este profesor retirado de la Universidad Complutense de Madrid, tras agradecer el apoyo recibido a lo largo de estos años por parte de las asociaciones de

carreteras, mencionó el que también reciben estos congresos por parte de organismos internacionales y destacó las aportaciones de la caminería física, histórica y literaria, a lo largo de 24 años de actividad ininterrumpida, divulgando la trascendencia de los caminos en la cultura hispanoamericana.

Manuel Criado de Val citó a Laura Solís, profesora de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (México) y a Jean-Paul Le Flem, profesor emérito de la Universidad IV de París, la Sorbona. Asimismo, se refirió a la representación de Colombia, ya que uno de los organismos colaboradores del Congreso es la Universidad Nacional de Medellín. También destacó el apoyo que ha supuesto la Universidad Nova de Lisboa (Portugal).

A las palabras de Manuel Criado de Val, siguió la exposición del doctor ingeniero de caminos, canales y puertos Luis Laorden: *"Exploradores, colonos, misioneros y militares en los caminos del norte de la Nueva España que ahora son 'National Historic Trails' de Estados Unidos"*. Luis Laorden habló por tanto de los cinco caminos reconocidos por el Gobierno de Estados Unidos: Camino Real de Tierra Adentro, declarado Patrimonio de la Humanidad en el año 2010; Camino de Juan Bautista de Anza, el Camino Real de las Tejas; el Camino de Santa Fé y el Viejo Camino Español. La siguiente ponencia consistió en la *Presentación de la digitalización de las actas de los congresos del I al VI*, impartida por Pablo Sáez Villar, director gerente de Acex; y terminó el día con la sesión *Situación actual de la investigación internacional sobre las calzadas romanas y los caminos reales*.

El miércoles 25 de junio se celebraron varias comunicaciones en una sesión conjunta. Una de ellas fue la que expuso Agustín Sánchez Rey, subdirector general de Explotación y Gestión de Red (Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento), bajo el nombre *Portazgos y peajes en los caminos españoles, desde los Reyes Católicos hasta hoy*. En la segunda

sesión plenaria se trató el *Atlas de Caminería Hispánica*, con la presencia del director de la Real Academia de la Historia, Gonzalo Anes, marqués de Castrillón y los académicos Martín Almagro Gorbea y José María Blázquez Martínez.

Como mención especial, se citó la edición digital del *Atlas de Caminería* con sus detalles técnicos y cartográficos, que formará parte del tercer volumen del atlas. A continuación, se presentó el informe de la Academia Internacional de Caminería y se nombraron nuevos académicos.

Premio Hernando Colón y últimas ponencias del Congreso

El hispanista Jean-Paul Le Flem y la Universidad de la Sorbona fueron distinguidos con el premio Hernando Colón durante la tercera sesión plenaria extraordinaria, presidida por el Alto Comisionado para la Marca España, Ignacio García-Valdecasas. Fue Jean-Paul Le Flem quien recogió tanto su premio como el que estaba destinado a la universidad francesa, en representación de la misma.

El viernes 27 de junio tuvo lugar la última sesión plenaria del Congreso *Expansión internacional de la caminería en América y en Europa. Situación actual*. En ella, la doctora Teresa Lázaro Sánchez expuso los resultados del proyecto de investigación de las fuentes históricas de obras públicas, desarrollado de 2012 al 2014 en la Universidad de Córdoba, con el auspicio de la Junta de Andalucía, y que contó con el apoyo de los programas para el desarrollo de la Unión Europea. Fue en este momento cuando se informó sobre la expansión de las actividades de caminería en América, resaltando la realización de la novena cátedra de caminería cuya temática fue *Mujer y género en la caminería: aportaciones en el arte y la cultura*.

El segundo momento que hay que destacar fue el homenaje a Elisa Borasteros Martínez Crido de Val, por su labor en la organización de los



D. Manuel Criado de Val durante su intervención en el Congreso.

congresos de caminería y otros eventos académicos y humanísticos en España, Europa y América. Este homenaje también sirvió para destacar la participación de centenares de mujeres de todos los continentes en los congresos y cátedras de caminería.

A continuación, se llevó a cabo la mesa redonda sobre el Quijote de Avellaneda, en la que las propuestas principales fueron las de la doctora Doña Pilar Gutiérrez Alonso, el doctor Luis Gómez Canseco y los profesores Alfonso Martín Jiménez y Alfonso Mateo-Sagasta.

Uno de los participantes de esta última mesa, el catedrático de la Universidad de Huelva, Luis Gómez Canseco, comentó a *RUTAS* que lleva mucho tiempo utilizado las actas de estos congresos, y como conclusión final, destacó la voluntad que percibió entre los organizadores de los mismos de continuar con esta labor en el futuro.

Por último, Manuel Criado de Val clausuró el Congreso, un evento en el que investigadores de España, Francia, Estados Unidos, México, Colombia, Ecuador y Argentina han presentado más de 40 ponencias y comunicaciones sobre caminería desde los diferentes puntos de vista que abarca este término. ❖



SÚMATE AL PROYECTO ONGAWA

TECNOLOGÍA / AGUA / PARTICIPACIÓN / TIC /
VOLUNTARIADO / ENERGÍA / AGRO / SOCIOS

Tfno.: (+34) 91 590 01 90
info@ongawa.org
www.ongawa.org

Antes:



ONGAWA es una asociación declarada de Utilidad Pública. Las cuentas de ONGAWA son auditadas anualmente por BDO Audiberia. ONGAWA cumple todos los Principios de Transparencia y Buenas Prácticas de la Fundación Lealtad. ONGAWA recibió, en 2005, la certificación ante la AECID como ONGD Calificada en el sector Tecnología

ASEFMA revela la incidencia real del estado del pavimento sobre la vida de los ciudadanos, economía y medio ambiente

Manuel Niño, secretario general de Infraestructuras del Ministerio de Fomento, reconoció la importancia de las carreteras para los ciudadanos y calificó de “excelente” y “beneficioso para el usuario de carreteras” el trabajo que realizan las empresas españolas de asfalto.

La Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA) celebró el pasado jueves 26 de junio su IX Jornada Nacional dedicada a las consecuencias del “estado del pavimento en la vida de los ciudadanos”. En la inauguración de la misma intervinieron el presidente de ASEFMA, Juan José Potti, y el secretario general de Infraestructuras del Ministerio de Fomento, Manuel Niño.

Juan José Potti señaló que los últimos datos disponibles sobre producción de mezclas bituminosas en España marcan un descenso acumulado de más del 70% desde 2007 y un mínimo histórico registrado en 2013 de 12,3 millones de toneladas de producción. La caída de la producción de mezclas bituminosas es un indicador de la escasa inversión en infraestructuras viarias cuando, precisamente, la carretera es el medio de transporte más utilizado por los españoles. Concretamente significa más del 90% de los desplazamientos de viajeros y más del 80% del transporte de mercancías.

“La relación entre la conservación del pavimento de carreteras y la vida de los ciudadanos es evidente”, afirmó el presidente de ASEFMA; infraestructuras viarias bien conservadas repercuten positivamente en la calidad de vida, economía y medio ambiente. Es más “las políticas preventivas en

materia de carreteras resultan ser a medio y largo plazo, mucho más económicas que las políticas curativas”. Francia, en donde sí se aplican, es un ejemplo de ello.

Por su parte, Manuel Niño insistió en que la conservación viaria es una prioridad para el Ministerio de Fomento. Reconoció la importancia de la carretera en la vida de los ciudadanos y afirmó que desde el Ministerio se está desarrollando un importante paquete de inversiones relacionadas con mantenimiento, explotación, seguridad vial y optimización de autopistas de peaje: “En un contexto de contención presupuestaria, la sociedad nos exige realizar ajuste de costes y atender a las prioridades más urgentes”, afirmó.

El secretario general de Infraestructuras también tuvo palabras para las entidades dedicadas a la pavimentación asfáltica: “Las empresas españolas de fabricantes de asfalto realizan un excelente trabajo que beneficia a los usuarios de carreteras”, señaló.

Incidencias destacadas y principales propuestas

Los profesionales del transporte, académicos y técnicos de la pavimentación y seguridad vial que participaron en la IX Jornada Nacional de ASEFMA coincidieron en apuntar que las administraciones

de carreteras deben hacer un esfuerzo superior en materia de conservación de carreteras porque “del estado del pavimento nos beneficiamos todos: no sólo afecta a profesionales del transporte y usuarios de carreteras, sino a la totalidad del país”.

Un pavimento en buen estado, con una buena regularidad superficial, disminuye el consumo de combustible de un vehículo ligero en un porcentaje de 12-18%. Reducir un 10% el consumo de combustible en España supone un ahorro, sólo por este concepto, superior a los 1.000 millones de euros cada año.

Ventajas en la inversión de carreteras

Por otro lado, una política de mejora de la regularidad superficial de las carreteras logra disminuir los gastos de conservación, incrementa la durabilidad de los pavimentos y disminuye significativamente el consumo de combustible. Así quedó patente durante la intervención del doctor Jorge Prozzi quién explicó las medidas que, en esta línea, están siendo aplicadas por la Administración de Carreteras de Texas (Estados Unidos).

En la sesión coordinada por Pere Macías, presidente de la Comisión de Seguridad Vial y Movilidad, se destacó la necesidad de impulsar la Ley de transparencia, en materia de carreteras, para poder implementar en España medidas similares a las de Texas. Sobre la mesa quedaron evidencias tales como que un firme deteriorado obstaculiza la cohesión del territorio, limita el acceso a bienes y servicios básicos e incide negativamente en la economía en la medida en que incrementa los costes para los usuarios y empresas. De la inversión en carreteras dependen 85.000 empleos directos, 52.000 indirectos, y el 0,4% del PIB de España. ❖



D. Juan José Potti, presidente de ASEFMA, y D. Manuel Niño, secretario general de Infraestructuras, inauguran la IX Jornada Nacional de ASEFMA.

VI Simposio de Túneles de Carretera

Explotación Sostenible de Túneles

El encuentro que abordará la explotación más eficaz y rentable de los túneles de carretera tendrá lugar en marzo de 2015, en Zaragoza.



El Comité Técnico de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) está organizando el VI Simposio de Túneles de Carretera, que tendrá lugar del 11 al 13 de marzo de 2015, en Zaragoza. En esta ocasión, tendrá el título "Explotación Sostenible de Túneles" y tratará de poner al día el estado del arte de todas las técnicas, prácticas y formas de gestión para una más eficaz explotación de los túneles al menor coste posible, involucrando a todas las partes participantes: propiedad, gestor, empresa de explotación y usuario.

En el VI Simposio de Túneles de Carretera se abordará la seguridad de los túneles en el contexto actual, desde un punto de vista global, en el que se tengan en cuenta la infraestructura del túnel, la explotación, la

gestión de la seguridad, el tráfico y el comportamiento del conductor.

Asimismo, está previsto realizar una visita técnica a los túneles de Monrepós en la A-23 y a su Centro de gestión centralizada (Huesca).

Simposios anteriores

El éxito de las Jornadas Técnicas sobre Túneles celebradas en 1994 en Gijón, dio lugar a que el Comité Técnico de Túneles de la ATC lo considerara un primer Simposio Nacional de Túneles. Así, cuatro años más tarde, este Comité organizó en Jaca el II Simposio de Túneles sobre explotación, seguridad, conservación y reparación. De esta forma, el siguiente Simposio se celebró en 2003, en Pamplona, dedicado a las nuevas tecnologías, métodos y soluciones aplicadas a la explotación.

En el año 2005 el lugar elegido fue Andorra para la celebración de un cuarto Simposio que planteaba por qué son seguros los túneles. Así llegamos al V Simposio de Túneles de Carretera, celebrado en Bilbao en febrero de 2010 bajo el nombre "Seguridad para los Túneles del Siglo XXI". En este evento se trató, entre otros temas, el Real Decreto 635/2006 de 26 de mayo sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.

Ante la celebración del VI Simposio de Túneles de Carretera, el próximo año, ya se ha puesto en marcha la recepción de comunicaciones y ponencias, así como todos los aspectos que la organización de un evento de estas características requiere. ❖

TEMARIO

- Análisis de riesgo.
- Responsables en las distintas fases.
- Sistema de ventilación y control de incendios.
- Eficiencia energética.
- Nuevas tecnologías.
- Reparación y rehabilitación.
- Pavimentos.
- Planes de intervención y seguridad. Simulacros.
- La integración y homogeneización de las instalaciones y equipamientos. Centros de control.
- Comunicaciones libres.

SECRETARÍA DEL SIMPOSIO

Asociación Técnica de Carreteras

c/ Monte Esquinza, 24, 4º dcha.

28010 Madrid (España)

Tel.: (0034) 91 308 23 18

Fax: (0034) 91 308 23 19

E-mail: congresos@atc-piarc.com

Recepción de comunicaciones: cursos@atc-piarc.org

LUGARES Y FECHAS

El Simposio de celebrará en:

Auditorio de Zaragoza

Calle de Eduardo Ibarra, 3

50009 Zaragoza

La fecha de celebración: 11, 12 y 13 de marzo de 2015.

ORGANIZACIÓN

El Simposio está organizado por el Comité de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras, Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC).

MEMORIA DEL SIMPOSIO

La totalidad de los trabajos presentados a este certamen serán recogidos en un libro que se entregará a todos los participantes.



Para más información, visite la página web de la ATC:

<http://www.atc-piarc.com>

Próximamente Jornadas Técnicas organizadas por la ATC

JORNADA TÉCNICA

CRITERIOS DE INTERVENCIÓN EN PUENTES DE FÁBRICA

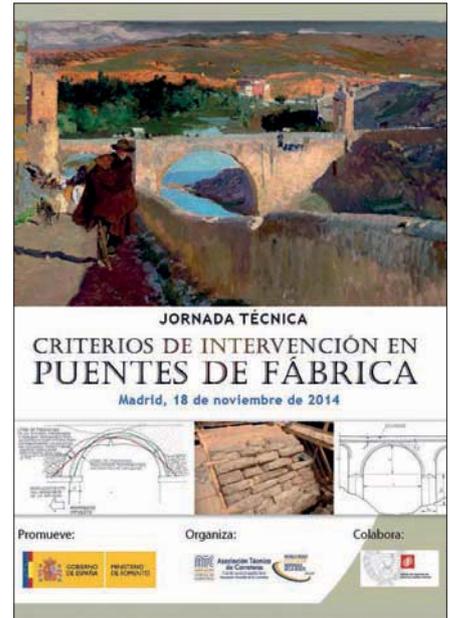
El próximo día 18 de noviembre la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) celebrará la Jornada Técnica "Criterios de intervención en puentes de fábrica", en la que se presentará el libro homónimo, fruto de la investigación del Grupo de Trabajo Puentes de Fábrica del Comité de Puentes de la ATC. Este trabajo fue impulsado por Ramón del Cuvillo, fallecido en diciembre de 2012 y a quien se rendirá homenaje al comienzo de esta Jornada.

El Grupo de Trabajo considera que el documento contiene aportaciones significativas que vienen a llenar un vacío doctrinal en la literatura técnica internacional para los ingenieros que tengan que enfrentarse a la necesidad de actuar en un puente de fábrica, circuns-

tancia para la que no se ha dispuesto de argumentos técnico-estéticos suficientes. El documento y la Jornada que lo presenta están dirigidos a los técnicos, tanto de la Administración como de la ingeniería y la contrata, para ayudarles a tomar decisiones con criterio más fundado cuando se enfrenten a la necesidad de intervenir en puentes existentes de fábrica, de piedra o ladrillo.

En el programa de esta Jornada Técnica se tratará la reparación y rehabilitación de puentes de fábrica, además de los procesos constructivos y los puentes históricos. La Jornada se celebrará en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid (sala Agustín de Betancourt).

Madrid
18 de noviembre de 2014



JORNADA TÉCNICA

LA NUEVA NORMA DE TRAZADO 3.1-IC

La vigente Norma 3.1-IC "Trazado" fue aprobada por Orden 2107 de 27 de diciembre de 1999 del Ministro de Fomento. Han pasado quince años de gran actividad en el campo de la consultoría de proyectos, que han servido a la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento para aplicarla en la redacción de proyectos, detectando sus fortalezas y debilidades, obligando a elaborar una nueva (sin olvidar la normativa vigente de la Unión Europea) cuya tramitación finalizará con la correspondiente orden ministerial.

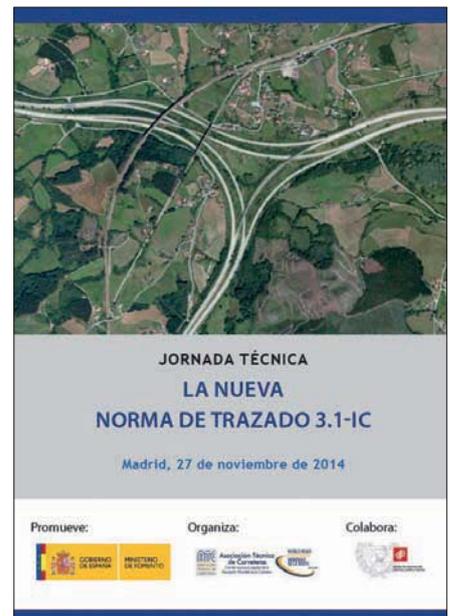
De esta forma, la Jornada Técnica "La Nueva Norma de Trazado 3.1-IC" que la Asociación Técnica de Carreteras celebrará el próximo 27 de no-

viembre presentará dicha Norma, que será de aplicación en los proyectos de nuevas infraestructuras viarias una vez sea publicada en el BOE; y contempla las especificaciones de los elementos básicos para el proyecto de un trazado de carreteras.

Aprovechando la presentación de la Norma se distribuirá un ejemplar del borrador de la misma, así como de la guía de nudos, también elaborado por la Subdirección General de Estudios y Proyectos, en fechas relativamente recientes.

La Jornada tendrá lugar en Madrid, en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (sala Agustín de Betancourt).

Madrid
27 de noviembre de 2014



REVISTA RUTAS DIGITAL



www.atc-piarc.com

La Revista Rutas también se distribuye a través de la página web del Comité Nacional Español.

Navega por nuestros números y artículos:

- Descarga los tres últimos números de la revista si eres suscriptor en Rutas Online.
 - Accede a los artículos de la revista, desde su primera edición en 1986, de manera sencilla y gratuita (los dos últimos años solo para suscriptores).
- Gracias a nuestro buscador avanzado en Rutas Digital



asociación técnica
de carreteras
comité español de la
asociación mundial de carreteras



La ATC prepara el monográfico: *Carretera y sociedad*

El segundo número monográfico de la revista *RUTAS* saldrá publicado a finales de año y se presentará en un acto de difusión a los medios de comunicación.

La Asociación Técnica de Carreteras prepara, para el último trimestre del año, un nuevo número monográfico de *RUTAS* con el título de *Carretera y sociedad*. Este número extraordinario de 2014 plantea una mirada de amplio recorrido por las infraestructuras viarias y su impacto en la realidad social.

El monográfico nº2 de *RUTAS* apuesta por una visión sistémica que integra perspectivas histórica, económica, tecnológica, filosófica o industrial. Se aborda el sentido de 4.000 años de trazados como instrumento fundamental para las relaciones sociales y económicas entre los pueblos, la conformación de las comunidades y su efecto en los desplazamientos, así como el acortamiento de los tiempos de recorrido y la cohesión territorial. Las carreteras, vinculadas al concepto mismo de libertad al abrirle al individuo un horizonte de posibilidades, son analizadas como ruta de acceso a educación, cultura, sanidad, comercio, ocio y a todo tipo de servicios; como instrumento capaz de generar nuevos hábitos y áreas de oportunidad.

El número extraordinario de *RUTAS*, que cuenta con 23 artículos, incluirá un análisis del progreso de las comunicaciones viarias en España durante las últimas décadas, y la comparación con lo sucedido en otros países del entorno. También aborda el efecto multiplicador de las carreteras sobre la economía y la competitividad y, en definitiva, los retornos de la inversión para la sociedad. En los ensayos del



monográfico se aborda la evolución de los modelos de planificación y la creciente sensibilidad por el impacto medioambiental, la seguridad o hacia sectores estratégicos como el turismo, así como el efecto de las circunvalaciones urbanas con nuevas oportunidades de restructuración urbanística para mejorar la calidad de vida en las ciudades.

Este monográfico de *RUTAS*, tras la edición en 2013 del número dedicado a *La Asociación Técnica de Carreteras y las infraestructuras*

viarias españolas, invita además a la confrontación de ideas (transporte individual o colectivo; pago por uso; transporte en las áreas urbanas; protagonismo del automóvil; o cómo serán las carreteras en el futuro) e incluye una reflexión institucional sobre la visión de las carreteras como asunto de Estado. En definitiva, análisis de amplio espectro, con sentido histórico y prospectiva de futuro, en torno a la ingeniería y las infraestructuras viarias de prestigio para la Marca España.

José María Izard, nombrado director general de la ATC

La Junta Directiva de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) nombró en su última reunión celebrada el 24 de junio de 2014 a José María Izard, como director general de la ATC.

Anteriormente, ya había sido nombrado secretario técnico de la Asociación Técnica de Carreteras y del Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera.

José María Izard es además vicepresidente del Comité Editorial de la revista *RUTAS*.

Experiencia profesional

El director general de la ATC es ingeniero de caminos, canales y puertos

por la Universidad Politécnica de Madrid y Máster en Economía y Dirección de Empresas por el IESE (Universidad de Navarra).

Durante sus 30 años de experiencia profesional ha desempeñado diversos cargos en empresas consultoras y empresas constructoras. Desde el año 2006 ocupa el cargo de gerente de la Asociación Nacional de Empresas Constructoras de Obra Pública (AERCO) y es consejero de la Confederación Nacional de la Construcción (CNC). También es miembro de diversos Comités de la CEOE.

José María Izard pertenece a la Junta Directiva de la ATC desde el año 2009.



Julio Vaquero, nombrado presidente del Comité de Firms de la ATC

El Comité de Firms de la Asociación Técnica de Carreteras eligió en su reunión del pasado 16 de julio de 2014 a su nuevo presidente, Julio Vaquero, ingeniero de caminos, canales y puertos por la Universidad Politécnica de Madrid y funcionario del cuerpo de ingenieros de caminos, canales y puertos del Estado.

Dentro de su carrera profesional destaca su actividad relacionada con la auscultación de carreteras, la rehabilitación de firms y pavimentos de hormigón y el empleo de materiales tratados con cemento, entre otros, desde distintos cargos de responsabilidad.

En primer lugar, fue jefe del Servicio de Materiales Tratados con Cemento en el Centro de Estudios de Carreteras (CEDEX) y más tarde, jefe de la División de Normativa y Tecnología del Hormigón del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), gerente del Insti-

tuto para la Promoción de Armaduras Certificadas (IPAC) e ingeniero jefe del Servicio de Auscultación de Firms y Pavimentos de la Dirección General de Carreteras, del Ministerio de Fomento, cargo que ocupa en la actualidad.

Experiencia en normalización

Con una amplia experiencia de más de veinte años en el campo de la normalización y la certificación es en estos momentos el presidente del AEN/CTN-41/SC-2 "Carreteras" de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) y representante español en el comité CEN/TC 227 "Road materials" del Comité Europeo de Normalización (CEN); además de ser vocal de la revista *RUTAS* y miembro de la Comisión Permanente del Cemento.

En su etapa en el sector privado, Julio Vaquero siguió participando acti-



vamente con el sector público, destacando su colaboración en la redacción de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE (1998), de la que fue responsable del capítulo de ejecución; y de la Instrucción 6.3-IC "Rehabilitación de firms" en la que actuó como experto externo colaborador de la Dirección General de Carreteras.

Composición de la Junta Directiva de la Asociación Técnica de Carreteras

PRESIDENTE: - D. Roberto Alberola García

CO-PRESIDENTES DE HONOR: - D. Jorge Urrecho Corrales
- D.ª María Seguí Gómez

VICEPRESIDENTES: - D. José Luis Elvira Muñoz
- D. Luis Alberto Solís Villa
- D. José María Morera Bosch
- D. Sandro Rocci Boccaleri
- D. Pablo Sáez Villar

TESORERO: - D. Pedro Gómez González

DIRECTOR GENERAL Y

SECRETARIO: - D. José María Izard Galindo

VOCALES:

- Designados por el Ministerio de Fomento:
 - D. José Luis Elvira Muñoz
 - D. Carlos Bartolomé Marín
 - D.ª María del Carmen Sánchez Sanz
 - D.ª María del Carmen Picón Cabrera
 - D. José Manuel Cendón Alberte
- En representación de los órganos de dirección relacionados con el tráfico:
 - D.ª Mónica Colás Pozuelo
 - D.ª Garbiñe Sáez Molinuevo
- En representación de los órganos de dirección de las Comunidades Autónomas:
 - D. Luis Alberto Solís Villa
 - D.ª María Auxiliadora Troncoso Ojeda
 - D. Iván Maestre Santos-Suárez
 - D.ª Margarita Torres Rodríguez
 - D. Carlos Estefanía Angulo
- En representación de los órganos responsables de la vialidad en los municipios, ayuntamientos o empresas públicas:
 - D. Manuel Arnaiz Ronda
- Designados por los órganos de la Administración General del Estado con competencia en I+D+i:
 - D. Ángel Arteaga Iriarte
 - D. Antonio Sánchez Trujillano
- En representación de los departamentos universitarios de las escuelas técnicas:
 - D. Félix Edmundo Pérez Jiménez
 - D. Carlos Delgado Alonso - Martirena
- Representante de las sociedades concesionarias de carreteras:
 - D. Bruno de la Fuente Bitaine
- Representantes de las empresas de consultoría:
 - D. José Polimón López
 - D. Casimiro Iglesias Pérez
 - D. Juan Antonio Alba Ripoll
- Representantes de las empresas fabricantes de materiales básicos y compuestos de carreteras:
 - D. Aniceto Zaragoza Ramírez
 - D. Alberto Bardesi Orúe - Echevarría
 - D.ª Mercedes Aviñó Bolinches
 - D. Jaime Huerta Gómez de Merodio
- Representantes de las empresas constructoras de carreteras:
 - D. José Enrique Bofill de la Cierva
 - D. Juan José Potti Cuervo
 - D. José María Izard Galindo
- Representante de las empresas de conservación de carreteras:
 - D. Pablo Sáez Villar
- Representante de los laboratorios acreditados
 - D. Juan Mata Arbide
- Representante de las agrupaciones de usuarios de la carretera:
 - D. Luis Alberto Puerto Giménez
- Representantes de los Socios Individuales de la Asociación:
 - D. Roberto Alberola García
 - D. Sandro Rocci Boccaleri
 - D. Jesús Díaz Minguela
 - D. Enrique Soler Salcedo
- Entre los Socios de Honor:
 - D. José María Morera Bosch
 - D. Pedro Gómez González
 - D. Francisco Javier Criado Ballesteros



Asociación Técnica
de Carreteras
Comité nacional español de la
Asociación Mundial de la Carretera



Comités Técnicos de la Asociación Técnica de Carreteras

Coordinador de los Comités Técnicos: *D. José María Morera Bosch*

C2 - COMITÉ DE VIALIDAD INVERNAL

- Presidenta *D.ª María del Carmen Sánchez Sanz*
- Presidente Adjunto *D. Luis Azcue Rodríguez*
- Secretaria *D.ª Lola García Arévalo*

C11 - PUENTES DE CARRETERAS

- Presidente *D. Álvaro Navareño Rojo*
- Secretario *D. Gonzalo Arias Hofman*

C3 - COMITÉ DE FINANCIACIÓN

- Presidente *D. Gerardo Gavilanes Ginerés*
- Vicepresidente *D. José María Morera Bosch*
- Secretario *D. José A. Sánchez Brazal*

C12 - GEOTECNIA VIAL

- Presidente *D. Carlos Oteo Mazo*
- Secretario *D. Manuel Rodríguez Sánchez*

C4 - CARRETERAS INTERURBANAS Y TRANSPORTE INTEGRADO INTERURBANO

- Presidente *D. Sandro Rocci Boccaleri*
- Secretario *D. Javier Sáinz de los Terreros*

C13 - SEGURIDAD VIAL

- Presidente *D. Roberto Llamas Rubio*
- Secretaria *D.ª Ana Arranz Cuenca*

C5 - TÚNELES DE CARRETERAS

- Presidente *D. Rafael López Guarga*
- Vicepresidente *D. Ignacio del Rey Llorente*
- Secretario *D. Juan Manuel Sanz Sacristán*

C14 - CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE

- Presidente *D. Antonio Sánchez Trujillano*

C6 - CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

- Presidenta *D.ª María del Carmen Sánchez Sanz*
- Presidente Adjunto *D. Vicente Vilanova Martínez-Falero*
- Vicepresidente *D. Pablo Sáez Villar*

C21 - CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO

- Presidente *D. Andrés Costa Hernández*
- Secretaria *D.ª Paloma Corbí Rico*

C7/8 - FIRMES DE CARRETERAS

- Presidente *D. Julio José Vaquero García*
- Secretario *D. Francisco José Lucas Ochoa*

Socios de la Asociación Técnica de Carreteras

Los Socios de la Asociación Técnica de Carreteras son:

- Socios de número:
 - Socios de Honor
 - Socios de Mérito
 - Socios Protectores
 - Socios Colectivos
 - Socios Individuales
- Otros Socios:
 - Socios Senior
 - Socios Júnior

Socios de Honor

D. ENRIQUE BALAGUER CAMPHUIS
D. JOSÉ LUIS ELVIRA MUÑOZ
D. FRANCISCO CRIADO BALLESTEROS
D. SANDRO ROCCI BOCCALERI
D. JOSÉ MARÍA MORERA BOSCH
D. LUIS ALBERTO SOLÍS VILLA
D. JORDI FOLLIA I ALSINA
D. PEDRO D. GÓMEZ GONZÁLEZ

Socios de Mérito

D. FRANCISCO ACHUTEGUI VIADA
D. CARLOS OTEO MAZO
D. ADOLFO GÜELL CANCELA
D. ANTONIO MEDINA GIL
D. CARLOS DELGADO ALONSO-MARTIRENA
D. ALBERTO BARDESI ORUE-ECHEVARRIA
D. RAFAEL LÓPEZ GUARGA
D. ÁLVARO NAVAREÑO ROJO
D.ª MERCEDES AVIÑÓ BOLINCHES
D. FEDERICO FERNANDEZ ALONSO
D. JUSTO BORRAJO SEBASTIÁN
D. JESÚS RUBIO ALFÉREZ
D. JESÚS SANTAMARÍA ARIAS

Socios Protectores y Socios Colectivos

Administración General del Estado

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MINISTERIO DE FOMENTO
DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO. MINISTERIO DEL INTERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIA. MINISTERIO DEL INTERIOR
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA. MINISTERIO DE FOMENTO

Comunidades Autónomas

COMUNIDAD DE MADRID
GENERALITAT DE CATALUNYA
GOBIERNO DE CANARIAS
GOBIERNO DE CANTABRIA
GOBIERNO DE EXTREMADURA. CONSEJERÍA DE FOMENTO, VIVIENDA, ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y TURISMO
GOBIERNO DE NAVARRA
GOBIERNO VASCO
GOBIERNO VASCO. DIRECCIÓN DE TRÁFICO
JUNTA DE ANDALUCÍA
JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN
JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA - LA MANCHA
XUNTA DE GALICIA. CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE
PRINCIPADO DE ASTURIAS

Diputaciones Forales, Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells

EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE ÁLAVA
EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE BIZKAIA
EXCMA. DIPUTACIÓN DE BARCELONA
EXCMA. DIPUTACIÓN DE GIRONA
EXCMA. DIPUTACIÓN DE TARRAGONA
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ÁVILA
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE HUESCA
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE LEÓN
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SALAMANCA
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEGOVIA
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALENCIA
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ZARAGOZA
CABILDO INSULAR DE TENERIFE
CABILDO DE GRAN CANARIA
CONSELL DE MALLORCA. DIRECCIÓN INSULAR DE CARRETERAS

Ayuntamientos

AYUNTAMIENTO DE BARCELONA
MADRID CALLE 30

Colegios Profesionales y Centros de investigación y formación

COLEGIO DE INGENIEROS TÉCNICOS DE OBRAS PÚBLICAS E INGENIEROS CIVILES
INSTITUTO CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE, CEDEX. MINISTERIO DE FOMENTO
ESCUELA DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS DE BARCELONA. CÁTEDRA DE CAMINOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL

Asociaciones

AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA, OFICEMEN
ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, ACEX
ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE OBRA PÚBLICA, AERCO
ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE SEÑALES METÁLICAS DE TRÁFICO, AFASEMETRA
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, ASEFMA
ASOCIACIÓN NACIONAL DE AUSCULTACIÓN Y SISTEMAS DE GESTIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURAS, AUSIGETI
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE ÁMBITO NACIONAL, SEOPAN
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS, TECNIBERIA
FORO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE, ITS ESPAÑA
FUNDACIÓN REAL AUTOMÓVIL CLUB DE CATALUÑA, RACC

Sociedades Concesionarias

ABERTIS AUTOPISTAS ESPAÑA, S.A.
ACCIONA CONCESIONES, S.L.
CEDINSA CONCESSIONARIA, S.A.
AP - 1 EUROPISTAS, CONCESIONARIA DEL ESTADO, S.A.U.
AUCALSA, AUTOPISTA CONCESIONARIA ASTUR - LEONESA, S.A.
AUDENASA, AUTOPISTAS DE NAVARRA, S.A.
AUTOPISTAS DEL ATLANTICO, CONCESIONARIA ESPAÑOLA, S.A.
BIDELAN GIPUZKOAKO AUTOBIDEAK, S.A.
CONCESIONARIA VIAL DE LOS ANDES, S.A. (COVIANDES)
TÚNEL D'ENVALIRA, S.A.
TÚNELS DE BARCELONA I CADÍ, CONCESSIONÀRIA DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, S.A.

Empresas

3M ESPAÑA, S.A.
ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.
ACCIONA INGENIERÍA, S.A.
AECOM INOCSA, S.L.U.
A. BIANCHINI INGENIERO, S.A.
ACEINSA MOVILIDAD, S.A.
AGUAS Y ESTRUCTURAS, S.A. (AYESA)
ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.
ALAUDA INGENIERÍA, S.A.
ALDESA CONSTRUCCIONES, S.A.
ALVAC, S.A.
API MOVILIDAD, S.A.
AUDECA, S.L.U.
AZUL DE REVESTIMIENTOS ANDALUCES, S.A.
BARNICES VALENTINE, S.A.U.
BASF CONSTRUCTION CHEMICALS, S.L.
BETAZUL, S.A.
CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.L.
CEPSA - PRODUCTOS ASFÁLTICOS, S.A.
CHM OBRAS E INFRAESTRUCTURAS, S.A.
COMOSAN PUENTES Y OBRA CIVIL, S.L.
CLOTHOS, S.L.
DRAGADOS, S.A.
DINÁMICAS DE SEGURIDAD, S.L.
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
ELSAMEX, S.A.
ESTEYCO, S.A.P.
ETRA ELECTRONIC TRAFIC, S.A.
EUROCONSULT, S.A.
EUROESTUDIOS, S.L.
FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.
FCC INDUSTRIAL E INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS, S.A.U.
FERROSER INFRAESTRUCTURAS, S.A.
FERROVIAL AGROMÁN, S.A.
FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A.
FIBERTEX ELEPHANT ESPAÑA, S.L. SOCIEDAD UNIPERSONAL
FREYSSINET, S.A.
GEOCONTROL, S.A.
GEOTECNIA Y CIMIENTOS, S.A. (GEOCISA)
GETINSA INGENIERÍA, S.L.

GINPROSA INGENIERÍA, S.L.
GPYO INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.
HUESKER GEOSINTÉTICOS, S.A.
IKUSI - ÁNGEL IGLESIAS, S.A.
IMPLASER 99, S.L.L.
INCOPE CONSULTORES, S.L.
INDRA SISTEMAS, S.A.
INDUSTRIAL DE TRANSFORMADOS METÁLICOS, S.A. (INTRAME)
INES INGENIEROS CONSULTORES, S.L.
INGENIERÍA IDOM INTERNACIONAL, S.A.
INGENIERÍA Y ECONOMÍA DEL TRANSPORTE, S.A. (INECO)
INNOVIA COPTALIA, S.A.U.
INVENTARIOS Y PROYECTOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL, S.L.
INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD, S.A. (INCOSA)
ISOLUX - CORSÁN, S.A.
JEROL VIAL, S.L.
KAO CORPORATION, S.A.
LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING, S.L.
MATINSA, MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
OBRASCÓN HUARTE LAIN, S.A. (OHL)
PAVASAL EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.
PAVIMENTOS BARCELONA, S.A. (PABASA)
PROBISA VÍAS Y OBRAS, S.L.U.
PROES CONSULTORES, S.A.
PROINTEC, S.A.
PROMAT IBÉRICA, S.A.
PROYECTOS Y SERVICIOS, S.A. (PROSER)
RAUROSZM.COM, S.L.
REPSOL LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES, S.A.
RETINEO, S.L.
S.A. DE GESTIÓN DE SERVICIOS Y CONSERVACIÓN (GESECO)
S.A. DE OBRAS Y SERVICIOS (COPASA)
SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.
SERBITZU ELKARTEA, S.L.
SOCIEDAD IBÉRICA DE CONSTRUCCIONES ELÉCTRICAS, S.A. (SICE)
SGS TECNOS, S.A.
TALHER, S.A.
TALLERES ZITRÓN, S.A.
TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. (TYPESA)
TECNIVIAL, S.A.
TELFÓNICA INGENIERÍA DE SEGURIDAD, S.A.
TELVENT TRÁFICO Y TRANSPORTE, S.A.
TENCATE GEOSYNTHETICS IBERIA, S.L.
TRABAJOS BITUMINOSOS, S. L.
ULMA C Y E, SOCIEDAD COOPERATIVA
URBACONSULT, S.A.
VALORIZA CONSERVACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
VSL CONSTRUCTION SYSTEMS, S.A.
V.S. INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L

Socios Individuales

Personas físicas (72) técnicos especialistas de las administraciones públicas; del ámbito universitario; de empresas de ingeniería, construcción, conservación, de suministros y de servicios; de centros de investigación; usuarios de la carretera y de otros campos relacionados con la carretera. Todos ellos actuando en su propio nombre y derecho.

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



Asociación Técnica de Carreteras
Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera



Si quiere suscribirse por un año a la revista **RUTAS**, en su edición impresa y digital, cuyo importe es de 60,10 € para socios de la ATC y 66,11 € para no socios (+ I.V.A. respectivamente) rellene sus datos en el formulario de abajo y envíelo por Fax o por correo postal a la sede de la Asociación:
C/ Monte Esquinza, 24, 4.º Dcha. 28010 Madrid.

Si quiere anunciarse en **RUTAS** póngase en contacto con nosotros:
Tel.: 913082318 Fax: 913082319
rutas@atc-piarc.com www.atc-piarc.com

http://www.atc-piarc.com/rutas_digital.php



Para más información:
puede dirigirse a:
Asociación Técnica de Carreteras
Tel.: 913082318 Fax: 913082319
info@atc-piarc.com
www.atc-piarc.com

Desde este link http://www.atc-piarc.com/rutas_digital.php, podrá consultar los artículos de la Revista *Rutas*, así como los de otras publicaciones, Congresos y Jornadas que organiza la ATC

Forma de pago:

Domiciliación bancaria CCC nº _____

Transferencia al numero de cuenta: 0234 0001 02 9010258094

Nombre

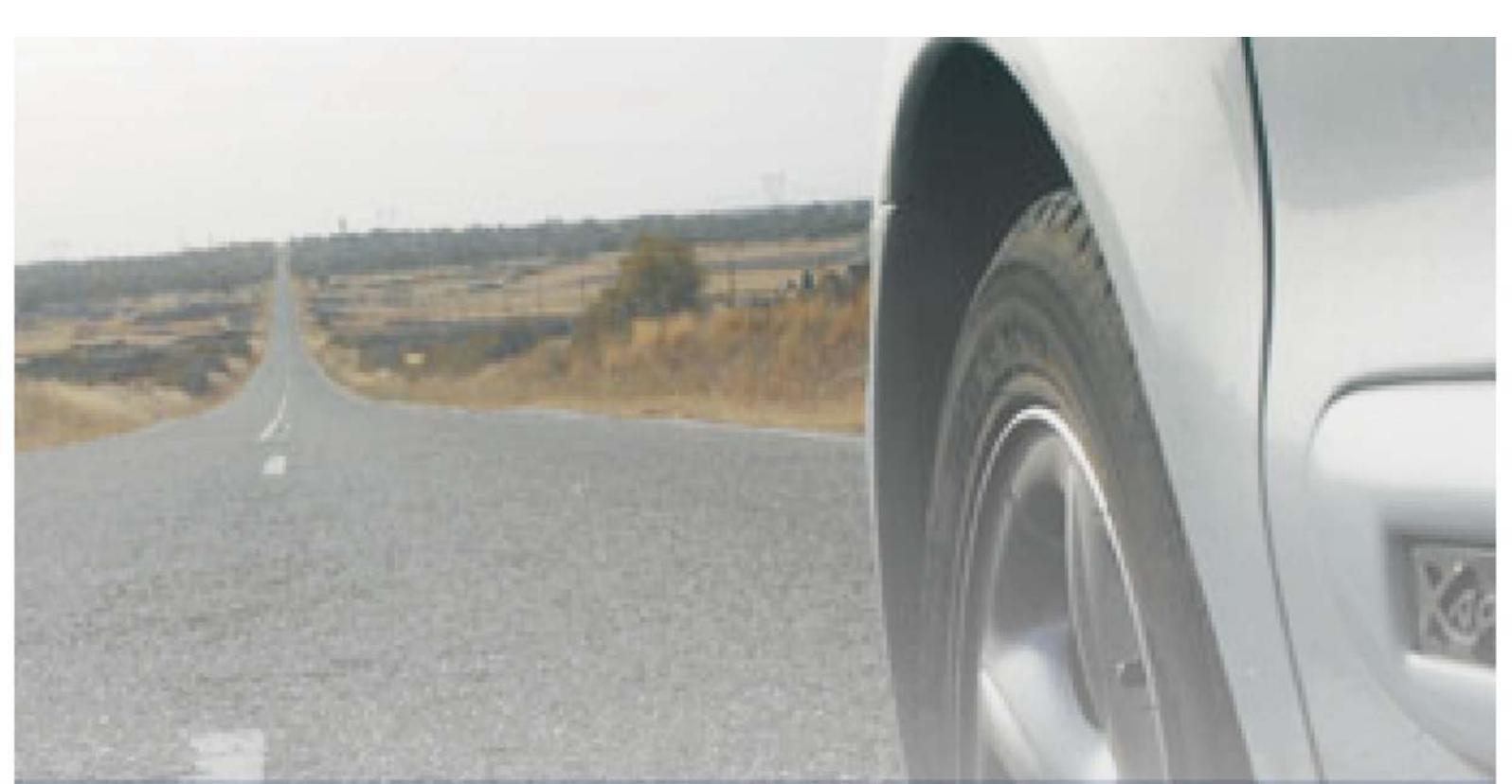
Empresa NIF

Dirección Teléfono

Ciudad C.P. e-mail

Provincia País

Fecha Firma



PREMIO JÓVENES PROFESIONALES ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE LA ASOCIACIÓN MUNDIAL DE LA CARRETERA



**Asociación Técnica
de Carreteras**

Comité nacional español de la
Asociación Mundial de la Carretera



CONVOCATORIA 2014

**Concurso abierto a todos los jóvenes profesionales
que manifiesten un interés en el sector de la carretera**

BASES DEL CONCURSO EN NUESTRA WEB

www.atc-piarc.com

Con PROAS
vuelve a estrenar
carretera.

Nuestra amplia gama de productos cuida y conserva el buen estado de las carreteras. Desde masillas sellantes hasta la gama ELASTER, última generación de betunes modificados con polímeros. Sea cual sea tu necesidad elige PROAS y estarás apostando por productos de última tecnología pensados para alargar la vida de la carretera.

Más información en www.proas.es

 **CEPSA**