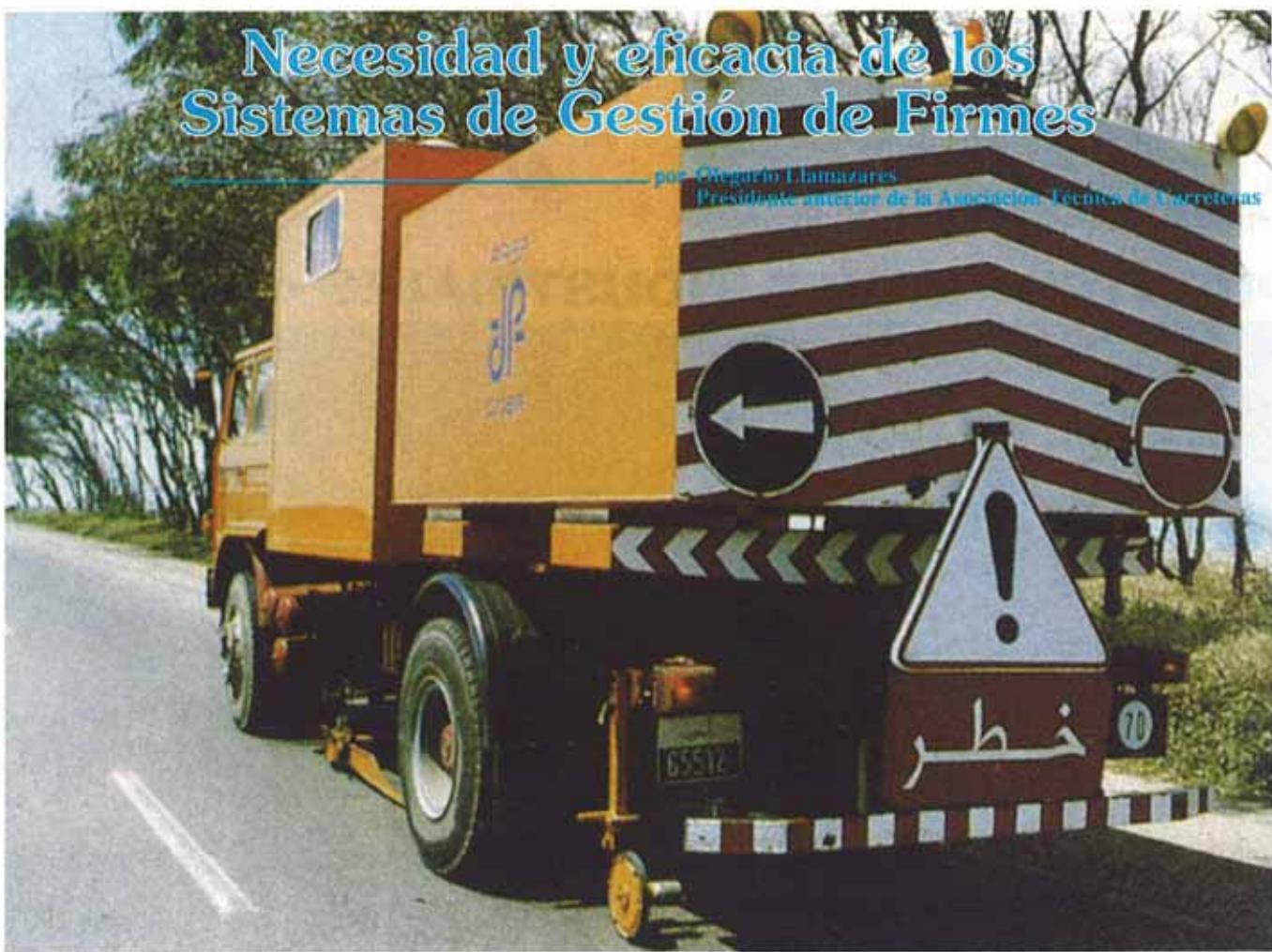


## Necesidad y eficacia de los Sistemas de Gestión de Firmes

por Gregorio Llamazares  
Presidente anterior de la Asociación Técnica de Carreteras



Medida de deflexiones en una campaña de refuerzo de firmes.

**L**A conservación de carreteras en los países desarrollados ha cobrado mayor importancia que la ampliación de las redes con tramos de nueva construcción; y esto tanto en cuantía de inversiones anuales como en urgencia de atenciones para evitar el deterioro del patrimonio viario, con sus secuelas de malas condiciones de rodadura y crecientes costes de rehabilitación.

Los firmes afectados por la acción de un tráfico cada vez más agresivo (cargas verticales, esfuerzos tangenciales, fenómenos de fatiga, etc.) se llevan la mayor parte de los créditos de conservación y la certeza distribución y aplicación de éstos merece una *gestión* racional basada en un cúmulo de información actualizada sobre el estado de la red y unos métodos analíticos de tratamientos y costes para la decisión sobre actuaciones y su orden de prioridad.

Se trata de aproximarse a estrategias de conservación óptima, teniendo en cuenta los fondos disponibles y los niveles de servicio que

definen umbrales de intervención. La acción optimizadora es básica ya que representa la primera respuesta significativa para el decisor en la elección de una estrategia adecuada para la conservación.

Los sistemas de gestión de firmes, de los que tenemos en España un ejemplo en una autopista de peaje y proyectos de implantación en las Redes Estatal y Autonómicas, son herramientas cada vez más eficaces que ofrecen al ingeniero de conservación una variada gama de posibilidades de actuación entre las que debe elegir dentro de límites económicos, técnicos y funcionales; la creación de bancos de datos, la definición de índices de estado y costes de rehabilitación y un fuerte apoyo informático para el tratamiento de datos, constituyen las bases de estas técnicas gestoras que hoy presentan diferencias sustanciales en los distintos países pero avanzan hacia la racionalización y la uniformidad, impulsadas por la importancia de su función y el intercambio de experiencias.

“  
**L**a función de la carretera exige una respuesta muy superior en cuanto a capacidad de soporte, seguridad y nivel de servicio con índices que hay que mantener frente a los efectos conjugados del tráfico y los agentes atmosféricos.”

**L**a conservación de carreteras fue siempre una preocupación de los Servicios, dentro del cometido de jefes y subalternos que conocían bien los itinerarios de su demarcación y el día a día de necesidades y deterioros. De acuerdo con ello, ordenaban a su modo el trabajo artesanal de camineros y cuadrillas para que se diera la “puntada a tiempo” evitadora de daños mayores a la calzada y perjuicios al tráfico o se acometiera la reparación extraordinaria precisa. Las operaciones eran recargos de piedra, recebado, tratamientos superficiales, riegos profundos o de sellado, reparación de blandones y limpieza de explanación con especial atención a los elementos de drenaje. El revestimiento asfáltico protector iba cubriendo progresivamente el pétreo y polvoriento macadam, transformando una solución histórica que recordaba el nombre de su inventor<sup>1</sup> había sido válida durante muchos años. Los revestimientos asfálticos se reponían con segundos riegos, o con capas de aglomerado cuando el tráfico del tramo había llegado a ser importante para los criterios de la época, basados en la acción de los esfuerzos verticales y tangenciales de la llanta rígida o neumática.

Pero todo esto pertenece a la Historia y hoy la función de la carretera exige una respuesta muy superior en cuanto a capacidad de soporte, seguridad y nivel de servicio con índices que hay que mantener frente a los efectos conjugados del tráfico y los agentes atmosféricos. La agresión de las cargas (magnitud y fenómenos de fatiga), las posibilidades tecnológicas y la cuantía de la asignación para la conservación han



Refuerzo de firme con mezcla bituminosa en caliente.

crecido con ley exponencial con el desarrollo a gran ritmo del transporte automóvil, que se inició en 1960 y ha superado todas las previsiones alcanzando una proporción del 90% en la distribución modal del transporte terrestre en España.

Por el sentido amplio y complejo que hoy postulan las actividades de conservación, se ha hecho necesario incluirlas dentro de un *sistema integral de gestión* que responda eficazmente a la preocupación que ya existía, en cuanto a programación sistemática de los trabajos atendiendo a órdenes de prioridad y disponiendo de bases de datos y equipamiento informático para actuar con oportunidad y conseguir el mayor rendimiento de los nunca sobrados créditos presupuestarios de la carretera. Hace trece años exponían esta inquietud nuestros compañeros, defensores a ultranza de una conservación racional y suficiente en la publicación de referencia.<sup>2</sup>

#### Perfeccionamiento y operatividad de los sistemas de gestión

Con algunos antecedentes en los Estados Unidos y el Canadá en torno a 1970, el origen y sobre todo la difusión de la *Pavement Management Systems* (PMS) –como llaman en los países anglosajones al “Sistema integral de gestión” a que antes nos hemos referido– puede situarse en un reivindicador documento de la conservación de carreteras publicado por la OCDE<sup>3</sup> en 1973. Se justificaban en este documento, *Entretien des routes en rase campagne*, la necesidad de mayores inversiones en conservación,

por razones de un tráfico creciente sin detrimento en el reparto de créditos debido a las obras de nueva construcción, variantes o acondicionamientos que por su mayor lucimiento pueden inclinar la decisión política como ha sido frecuente.

En la década de los 70 el PMS o sistema de gestión de firmes se desarrolló mucho en los dos países citados. Bien es verdad que al fervor inicial siguieron bastantes desencuentros en los Departamentos de Carreteras que empezaban a usar unos sistemas de base teórica, y origen generalmente académico, de los que desconfiaron los ingenieros de conservación de tradición muy práctica y realista.

Pero esta desconfianza se ha superado y el empleo de los sistemas de gestión se va generalizando en Europa y América. Cabe señalar la conclusión esperanzadora de la Conferencia debate de Bruselas (18º Congreso Mundial de la AIPCR, 1987)<sup>4</sup> respecto a la utilidad de estos sistemas en los procesos de toma de decisión de inversiones en cuanto a selección de estrategias y prioridades, seguimiento continuo y garantizado de firmes, fijación de umbrales de aceptabilidad/intervención y

<sup>1</sup> John London Mac Adam, Ingeniero de Caminos escocés (1756-1836).

<sup>2</sup> Vid. DE LOS SANTOS JALON, L y GASCA ALLUE, C. *Organización, planificación y gestión de la conservación de carreteras*. Información Técnica n. 2. Comité Español de la AIPCR. Madrid, 1978. Organización de Cooperación y Desarrollo Económico.

<sup>3</sup> En el 19º Congreso (Marraquech, 1991) en la Cuestión II, *Explotación y Gestión*, se tratará de “Sistemas de programación y gestión de la conservación” y “Modelos derivados del modelo HDM”.

“

**E**l crecimiento del tráfico y de su efecto destructivo requiere unos métodos de conocimiento y unas técnicas de actuación muy superiores en cuantía de inversión, rigor y especialización respecto a las prácticas tradicionales. ”

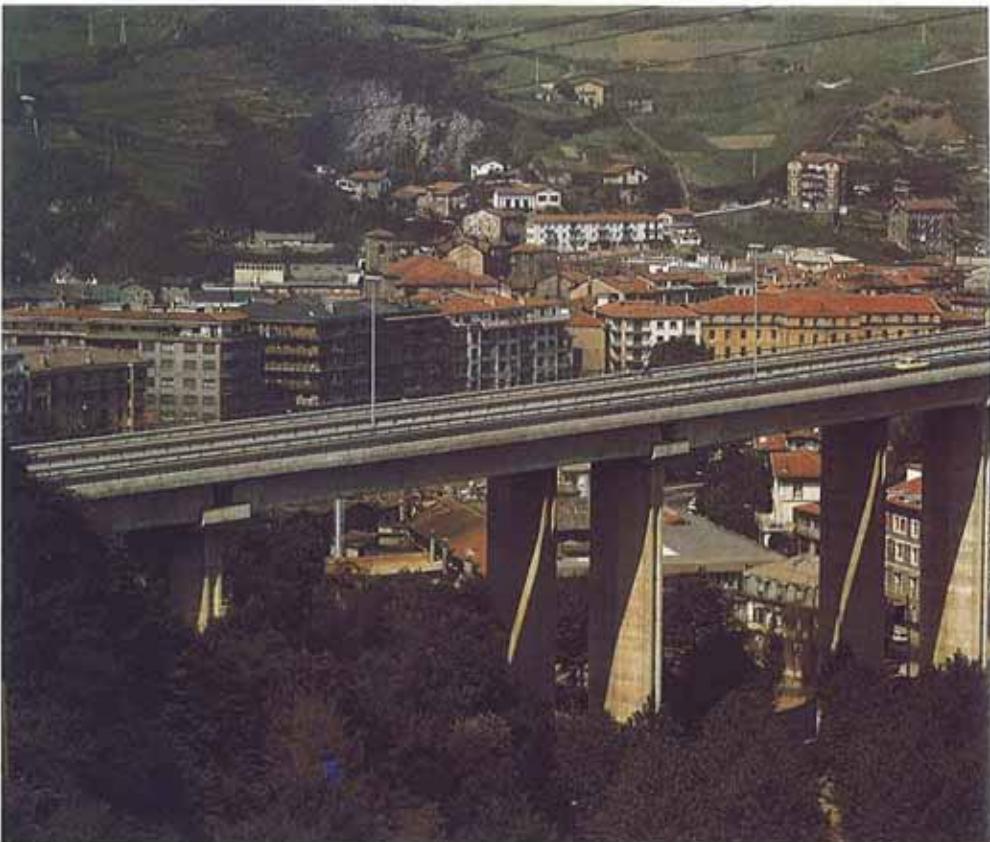
operaciones pertinentes (corrección de regularidad superficial, refuerzo, rehabilitación, etc).

El crecimiento del tráfico y de su efecto destructivo requiere unos métodos de conocimiento y unas técnicas de actuación muy superiores en cuantía de inversión, rigor y especialización respecto a las prácticas tradicionales. Y esto es precisamente necesario en los países desarrollados donde las redes viarias se han ido completando y cada vez será menor el gasto en tramos de nueva construcción, lo que permite aumentar sustancialmente las dotaciones para la conservación *lato sensu*, lo que por otra parte será en general más rentable en cuanto a aplicación de créditos.

Hasta ahora y por las informaciones recibidas de los países en que se han utilizado los sistemas de gestión, no parecía muy clara su operatividad y se señalaba la gran diversidad entre estos sistemas en cuanto a apreciaciones y procesos de decisión, índices de estado y modelos de comportamiento y evolución. Hoy como al final indicaremos las conclusiones de Conferencias y Comités relativos al tema son optimistas respecto a la adopción y eficacia de los sistemas de gestión. Los Estados americanos, las provincias del Canadá, el Reino Unido y otros países de Europa dispondrán en 1993 de sistemas operativos.

#### Una información necesaria

España es un caso singular en cuanto a la atención de la infraestructura viaria donde se están invirtiendo grandes cantidades tanto por la Administración Central (Planes Generales de Carreteras) como por las Comunidades Autónomas, Diputaciones y Ayuntamientos. Existen itinerarios



interurbanos y accesos a poblaciones que soportan grandes intensidades de tráfico y en todo caso parece irreversible el aumento del que circula por las vías de cualquier rango. Se necesita, pues ordenar la conservación a los correspondientes niveles de gestión según la categoría de las redes para conservar, rehabilitar o reconstruir las secciones estructurales del firme, considerando asimismo la resistencia al deslizamiento de la capa de rodadura para asegurarse contra la producción de accidentes del tráfico más veloz, especialmente en caso de pavimento húmedo.

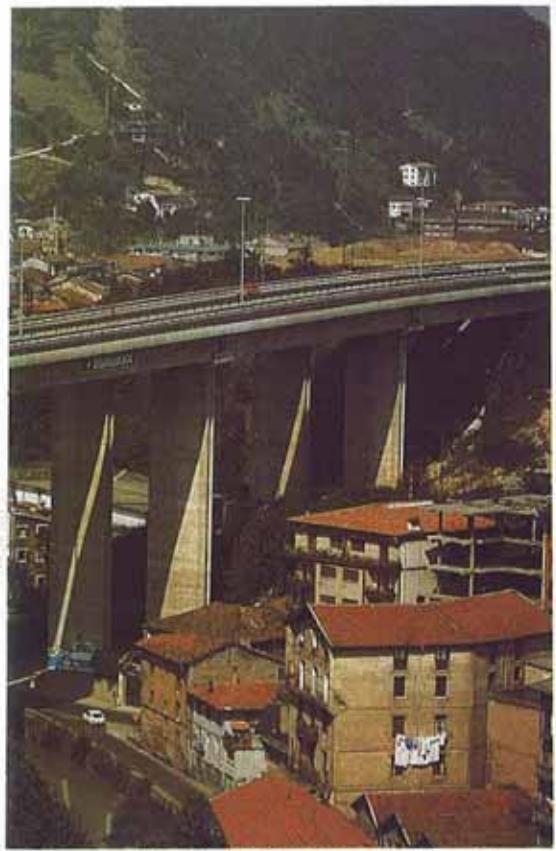
Hasta ahora una gestión de firme, con categoría de tal en su reciente concepto, sólo la está empleando la sociedad concesionaria de una autopista de peaje. Esta gestión que puede calificarse de integral (dispone de banco de datos y sistemas operativos) se orienta a lograr un nivel de servicio, dentro de ciertos límites prefijados, con el mínimo coste; o en el caso que se fije la asignación presupuestaria, lograr con esa inversión el nivel de servicio más elevado. En todo caso se trata de que con la gestión se maximice el cociente nivel de servicio/recursos aplicados.

El nivel de servicio es un concepto mucho más amplio y globalizador que los índices exclusivamente físicos que nos llegaron de la tecnolo-

gía americana y mantuvieron una larga vigencia, v.g. el llamado "índice de servicio", PSI, *Present Serviceability Index* definido por la AASHTO. Hoy hay que manejar unos índices o parámetros de cuantificación, integrando índices parciales o especializados sobre aspectos que incidan en la gestión: seguridad, tiempos de recorrido, consumo de carburante, afecciones al tráfico por obras de reparación o ensanche, etc.

La eficacia de los sistemas de gestión se va demostrando cada vez más, poniendo de manifiesto sus posibilidades de análisis comparativo previos a la determinación de inversiones correctas que pueden depender de determinadas estrategias que requieran la participación decisoria de políticos, administradores y técnicos.

Considerando el avance de los criterios e instrumentos de gestión que se amplian y perfeccionan en los países industrializados, a la luz de posibilidades y experiencias, es muy útil que nuestros ingenieros de conservación, los planificadores de ésta y sus colaboradores de cualquier índole, conozcan el "estado del arte", empezando por lo que ya se está haciendo o se va a hacer pronto en España. Tal circunstancia motivó la convocatoria de las *Jornadas sobre estrategias de inversión en conser-*



Viaducto de Tolosa. Autopista Bilbao-Behovia. Jornadas de evaluación y gestión de firmes que se celebraron en Madrid el pasado Noviembre con la participación de distinguidos especialistas nacionales y extranjeros. Con esta reunión se ofreció una información para los profesionales responsables de la gestión de firmes.

fijado los objetivos del sistema que en primer término se destinan a la determinación de prioridades de actuación en rehabilitación superficial y estructural de la Red General del Estado; cubierto este primer objetivo se complementará el sistema con un procedimiento automatizado para ayuda a la decisión. El sistema se concibe como un conjunto de datos de entradas recogidos en distintos ficheros. Se diferencian los tres aspectos clásicos de la conservación: seguridad, comodidad de rodadura y capacidad estructural o de soporte. Se dispone de datos de tráfico procedentes de los aforos que se están haciendo desde hace 25 años con estaciones de diversa categoría. El programa se intensifica en los años múltiplos de 5 en los que se llega a una estación cada 9 km de la Red del MOPT.

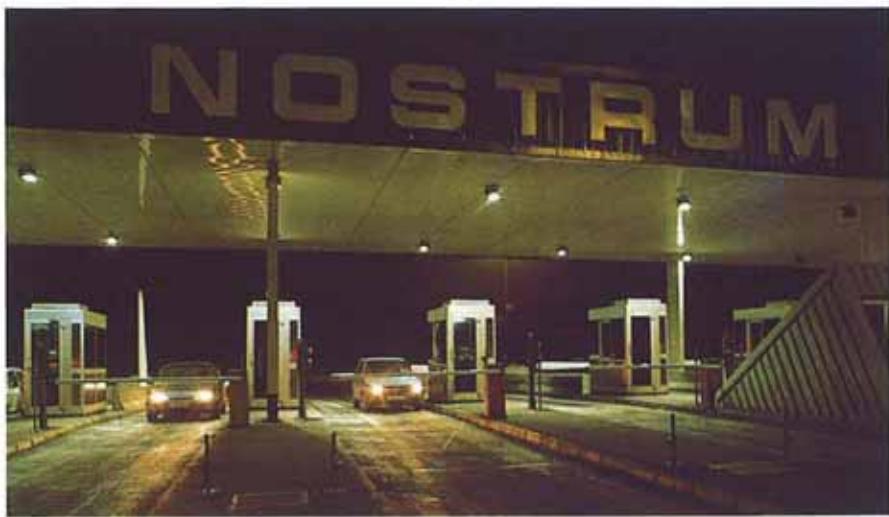
Se creará un fichero de costes de actuaciones-tipo de rehabilitación según tipo de firme y estado de deterioro, dato decisivo para el reparto racional de fondos. Por ahora, y por tratarse de itinerarios de uso libre, no se consideran datos de explotación o funcionamiento de los vehículos (carburante, neumáticos, reparaciones, costes de accidentes). Se ampliarán más adelante datos para la tramitación por deflectografía de la Red. Las campañas de auscultación se iniciaron en 1975, pero con el exclusivo fin de redactar proyectos de refuerzo. A efectos de gestión es preciso hacer más ope-

**S**e considera la importancia social, política y económica de las redes de distinto rango, la necesidad de una buena prestación de la infraestructura y el seguimiento para que se mantengan ésta con los niveles necesarios de capacidad, seguridad y comodidad.

sisis y selección que se emplean o prevén emplear. Casi todas las Comunidades tienen inventariados una buena parte de sus firmes, algunas con medios manuales y otras mediante tomas de video. En general la evaluación del estado de los firmes se ha hecho por inspección visual del personal responsable de la conservación; en un 10% se ha empleado el deflectógrafo Lacroix.

Esta ponencia se dedica principalmente al sistema de gestión que está preparando la Generalitat de Cataluña partiendo de una larga serie de datos relativos a codificación de carreteras y tramos, características geométricas y estructurales de sus firmes, intensidades medias y composición del tráfico que soporan, costes de las operaciones de refuerzo, rehabilitación y conservación ordinaria, costes al usuario según el estado de los firmes, índices de estado y servicio, evoluciones de estos índices y valor residual.

Señalamos el interés de la ponencia relativa a la gestión de nuestras autopistas de peaje<sup>6</sup>. Se considera la importancia social, política y económica de las redes de distinto rango, la necesidad de una buena prestación de la infraestructura y el seguimiento para que se mantengan ésta con los niveles necesarios de capacidad, seguridad y comodidad. En



La ponencia relativa a la gestión de autopistas de peaje fue muy interesante.

## La gestión de firmes en España

Por las razones apuntadas respecto a la necesidad de una gestión racionalizada de firmes la Dirección General de Carreteras del MOPT ha

rativo el archivo de deflexiones características.

En la ponencia relativa a la gestión de firmes de las redes de las Comunidades Autonómicas se trató de los propósitos de evaluación del estado de los firmes y métodos de aná-

<sup>6</sup> Organizaron las Jornadas la Asociación Técnica de Carreteras (Comité Español de la AIPCR) y la Fundación "Agustín de Beccaln" de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, con la colaboración de GEOCISA y ELSAMEX, S.A.

Existen en España 13 sociedades concesionarias que administran una red que actualmente tiene unos 2000 kilómetros en servicio.

“

**S**imula el modelo las condiciones del ciclo vital de la infraestructura y los costes año por año; asimismo determina los criterios para toma de decisiones económicas sobre diversos tipos de carreteras; cuantifica deterioro y conservación, consumos de explotación. ”

el caso de peaje la sociedad moviliza recursos propios y ajenos buscando la máxima rentabilidad (recaudación frente a gastos financieros, de conservación y explotación).

Se alude a la ponderación por niveles de servicio, sistematización de las operaciones de conservación, seguimiento de evolución del firme y creación de bases de datos que en las autopistas es más fácil que en el resto de la red, ya que todas se han realizado en los últimos años y con el estricto control que ha permitido la nueva tecnología de carreteras que por otra parte define las soluciones más apropiadas en respuesta mecánica, durabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.

#### Aplicaciones del Modelo HDM del Banco Mundial

Un ejemplo de estrategias de inversión, si bien diferente por diversas circunstancias a la gestión de firmes en los países avanzados, es la metodología de evaluación a que responde el modelo *High Design and Maintenance Model (HDM)*, utilizado por el Banco Mundial para redes de carreteras de países en desarrollo. Es un modelo de proyecto de carreteras y normas de conservación, en el que se incorporan objetivos y datos técnicos y económicos de diversa índole. Se emplea para *Evaluación de proyectos* (análisis comparativo de alternativas de construcción y conservación y de terminación de la viabilidad económica), *Planeamiento de redes completas* (determinación de necesidades físicas a largo plazo y asignaciones para las obras de construc-

ción y actuaciones en conservación con vistas a la optimización de la inversión de los créditos disponibles) y *Formulación de la política técnica* (políticas concretas para una red o grupo de carreteras, construcción del firme por fases de acuerdo con el crecimiento del tráfico para escalar el gasto, consideración de la necesidad de revestimiento bituminoso en el aspecto económico funcional).

El modelo HDM, del que se han derivado varios programas más o menos simplificados, es fruto de un trabajo de 18 años de colaboración entre instituciones gubernamentales y académicas de EE.UU., Reino Unido, Francia, Australia, Brasil, India, Kenia y el Caribe, con un gran esfuerzo en cuanto al desarrollo empírico de las relaciones previsibles, construcción-conservación-explotación.

Simula el modelo las condiciones del ciclo vital de la infraestructura y los costes año por año; asimismo determina los criterios para toma de decisiones económicas sobre diversos tipos de carreteras; cuantifica deterioro y conservación, consumos de explotación (tráfico). Es un sistema apropiado para destinar adecuadamente fondos de desarrollo (préstamos o ayudas a fondo perdido) de entidades hacia las necesidades más urgentes de la red del país beneficiario.

A la presentación de este modelo dedicó su ponencia el ingeniero neozelandés, funcionario del Banco Mundial, William D.O. Paterson, refiriéndose a la aplicación en varios proyectos de este Banco: plan cuatrienal de la red principal de Chile, rehabilitación de la red de Indonesia, programa de conservación de la red de Niger y prospección y análisis de la red de Costa Rica.

#### Experiencias de planteamiento y desarrollo en el extranjero

Las ponencias extranjeras abundan en la necesidad de disponer de un sistema de gestión de firmes: recogida de datos esenciales y procesos de ayuda a la decisión para optimizar los recursos que vayan a invertirse en conservación ordinaria y rehabilitación o reconstrucción de firmes.

En Francia la política de gestión se basa en la rehabilitación y *conservación preventiva*, a través de un seguimiento metódico. La prioridad es esencialmente función de la conservación estructural, seguridad-comodidad y características superficiales. Para la elección de actuaciones dispondrán de catálogos de dimensionamiento de firmes nuevos<sup>7</sup>, ca-



tálogos de rehabilitación, guías de conservación preventiva y las bases de datos precisas. La política de conservación preventiva es eficaz más a la larga y por ello suele posponerse a las rehabilitaciones que son más urgentes y concretas. No obstante no hay duda de que en algunos casos la conservación preventiva puede estar justificada económicaamente.

La ponencia de los EE.UU. describe los antecedentes del PMS en



Autopista urbana congestionada.

el país poniendo énfasis en los factores más influyentes para un planteamiento racional y objetivo. Hay que seleccionar una información pertinente (la necesaria para tratar de resolver entre prioridades en competencia), *actual* (puesta al día de la memoria del sistema) y *correcta* (procesos de comprobación y corrección de discrepancias). En Norteamérica se invierten todos los años miles de millones de dólares en con-

servación y rehabilitación. Como dijo el ponente "El coste de construcción y conservación de firmes es lo suficientemente alto —en las redes de cualquier rango— que ninguna Administración de Carreteras puede permitirse el no utilizar un sistema de gestión".

Existen en Inglaterra del orden de 270 000 kilómetros de carreteras de tránsito público y permanente, o sea el 80% de la red global del Reino Unido. El Departamento inglés de Transportes administra 2 500 kilómetros de autopistas y 8 000 kilómetros de carreteras principales; el resto depende de los Condados, Distritos, Metropolitanos y *boroughs* (municipios) de los extrarradios de Londres. El Departamento, la Asociación de Condados y Autoridades Metropolitanas han creado un sistema conjunto basado en un proyecto que se está llevando a cabo en tres fases. La Fase 1<sup>a</sup> (Estudio de viabilidad del plan) ya se ha concluido. La Fase 2<sup>a</sup> (Concepción de prototipos: creación de módulo de núcleo y tramos de ensayo en diferentes tipos de carreteras) se concluirá en 1993. En la Fase 3<sup>a</sup> (a partir de 1994) se aplicará el sistema a todas las carreteras dependientes de las autoridades locales.

Señalamos el interés de la ponencia relativa al método analítico-empírico que se emplea desde hace 10 años en Dinamarca. La predicción del futuro estado del firme (cuantificación de la *utilidad* del firme —respecto a su estado actual— y *variación* de ésta con el paso del tiempo). Esta predicción con un grado razonable de certeza es como se dice esencial para una gestión eficaz. El método considera los módulos del sólido multicapa, relación entre esfuerzos y deformaciones así como los costes que suponga un determinado grado de deterioro. La salida de un sistema de gestión debe ser una lista de intervenciones concretas y fechadas para conservar la red. Pero para que pueda ser una ayuda en la toma de decisiones, a nivel de alta dirección o a nivel político, deben ofrecerse también otras informaciones que pueden ser condicionantes en los aspectos estructural, funcional, social y económico.

#### Buenas perspectivas para los sistemas de gestión

Los sistemas de gestión de firmes, como hemos visto, avanzan en los

“  
**E**s de esperar que, con el interés tecnológico y la voluntad política que la cuestión merece, al final de la década, los sistemas de gestión se implanten en la Red General del Estado, autopistas de peaje y redes autonómicas.”

países más industrializados y son objeto de preocupación en otros muchos que van creando bases de datos que definen el estado de la red y métodos de empleo de estos datos para determinar inversiones y prioridades. Como antes se ha dicho, hoy estos sistemas son una necesidad y hay que empezar a utilizarlos lo antes posible; sin esperar a una normativa demasiado rigurosa o sofisticada que pueda retrasar el proceso de obtención e interpretación de datos.

Las perspectivas para la presente década son optimistas para los países pioneros en la gestión. Respecto a España diremos que la gestión integral se emplea en una autopista de peaje que dispone de las primeras bases de datos, un sistema ya operativo y otros en desarrollo para próxima aplicación. Es de esperar que, con el interés tecnológico y la voluntad política que la cuestión merece, al final de la década, los sistemas de gestión se implanten en la Red General del Estado, autopistas de peaje y redes autonómicas, lo que será una garantía para el buen estado de una gran parte de nuestra infraestructura viaria, por lo menos la que canaliza los mayores flujos de tráfico.

Los firmes se proyectan para que soporten sin desperfectos el tráfico previsible en un período de 20 años, estimando un incremento del 7% anual.

**Suscríbase a la revista  
“RUTAS”**  
**la mejor revista para técnicos  
y profesionales.**

**Boletín de suscripción en  
pág. 113**