

Sistemas de Gestión de Firmes I Equipos y Técnicas de Auscultación

Por Ramón Crespo del Río



Equipo R.S.T.

1. Introducción

LOS sistemas de gestión de firmes de carreteras están adquiriendo cada día mayor desarrollo y atención por parte de los responsables de la Conservación de las redes de carreteras de las diversas administraciones competentes.

La aplicación del gran número de actividades y técnicas requeridas es posible gracias a los potentes sistemas informáticos actuales, capaces de utilizar con eficacia todos los datos que se precisan.

Los principales condicionantes para el buen funcionamiento de todo proceso organizado y sistemático de la conservación de la red son, el desarrollo e implementación de Bases de datos específicas para el sistema, y el suministro Frecuente y Fiable de los datos necesarios sobre el estado del firme, obtenidos mediante campañas periódicas de Auscultación.

En las páginas siguientes se ofrece una revisión de este último aspecto, presentando las técnicas y equipos de auscultación disponibles en España y recomendaciones sobre los parámetros a incorporar a la base de datos del sistema de gestión.

El artículo se estructura según la clásica división de los trabajos de auscultación

Tipo	Nivel
Funcional	Red
Estructural	Proyecto

2. Auscultación a nivel de red

La auscultación de una red de carreteras debe plantearse sobre la base de la utilización de equipos de gran rendimiento y fiabilidad, capaces de recorrer decenas de kilómetros por día, centenares por mes o miles por año, recogiendo información represen-

tativa del estado de la red. Ello no siempre es posible con las técnicas de medida actuales por lo que en ocasiones se debe recurrir a soluciones de compromiso. Soluciones que no sólo deben atender a los aspectos técnicos sino también a la distribución racional de los presupuestos disponibles para la auscultación.

2.1. Auscultación funcional

Los posibilidades de recoger datos para la evaluación funcional (medida de las características superficiales de los pavimentos y su análisis para atender las necesidades de los usuarios) están sensiblemente bien cubiertos a nivel mundial y también a nivel español. La disponibilidad en España de equipos como SCRIM, APL, GERPHO y RST¹ hacen posible la auscultación funcional con el nivel de frecuencia necesario y deseable para cualquier Administración y tipo de red. Si fuera necesario bastaría con aumentar el número de equipos o

“La línea de investigación más avanzada estudia la asociación de la resistencia al deslizamiento con la geometría del pavimento en escalas deducibles directamente a partir de medidas de la textura.”

incrementar el uso y rendimiento de los existentes.

Tampoco es difícil seleccionar los parámetros más representativos del estado de la superficie que han de ser introducidos en la base de datos del sistema de gestión.

A continuación se da un breve repaso a las recomendaciones que se juzgan más adecuadas y realistas en el panorama español.

2.1.1. Regularidad Superficial

La difusión mundial y la validez del indicador IRI, Índice de Regularidad Internacional, le hacen muy recomendable para representar la regularidad superficial en cualquier sistema de gestión sea cual sea su alcance o dimensión. El IRI presenta la ventaja de que puede ser calculado a partir de datos del perfil longitudinal obtenidos con diversos equipos de tipo perfilométrico y estar incorporado a la normativa española desarrollada por la Dirección General de Carreteras del MOPU. Sobre el IRI su aplicación y significado se puede encontrar numerosa bibliografía, destacando por su interés la presentada en las publicaciones del Banco Mundial (ref. 1, 2, 3, 4).

2.1.2. Resistencia al Deslizamiento

Algo parecido puede decirse respecto al parámetro que evalúa la resistencia al deslizamiento del pavimento. El indicador CRT, Coeficiente de Rozamiento Transversal, asociado biunívocamente al equipo SCRIM, es a nivel español el más recomendable.

Sin embargo es probable que a medio plazo (5-10 años) esta situación observada desde la problemática técnica existente, se modifique por varias razones. Por una parte la introducción cada día más generalizada de los sistemas ABS (Antilock Brake Systems) en los vehículos, hace proba-



Equipo A.P.L.

ble que sea mejor representar la adherencia neumático-pavimento con un índice asociado al deslizamiento longitudinal, en lugar de la transversal. Por otra parte la puesta en marcha de un experimento internacional para la armonización de las medidas de textura y deslizamiento¹ al estilo del IRRE² (ref. 1) puede llegar a desarrollar técnicas e indicadores de aplicación más general, diferentes del CRT.

La línea de investigación más avanzada estudia la asociación de la resistencia al deslizamiento con la geometría del pavimento en escalas deducibles directamente a partir de medidas de la textura.

2.1.3. Textura

En lo que se refiere a la medida de la textura interesa señalar que es una característica que cada día se revela más significativa para conocer el comportamiento funcional del pavimento, ya que con ella se relacionan, además de la resistencia al deslizamiento, aspectos tan importantes como el ruido de contacto neumático-pavimento, la resistencia a la rodadura (por tanto consumo de carburante y

desgaste de neumáticos), la capacidad de drenaje del pavimento (evacuación y proyección de agua), etc.

La textura ha sido subdividida por la AIPCR (ref. 5) atendiendo a los tipos y escalas siguientes: (Ver Tabla 1).

Sin embargo no existe una recomendación clara sobre qué parámetros pueden incorporarse a la base de datos. La profundidad de la textura medida por el método del círculo o mancha de arena (NLT 335 / 87) es el más conocido y utilizado para valorar la macro-textura. La medida se realiza mediante un ensayo estático y puntual de muy bajo rendimiento, por lo que se precisa definir correlaciones con medidas obtenidas mediante técnicas de no contacto, principalmente rayos láser, con equipos de gran rendimiento.

La única alternativa disponible, en este momento en España, de medida generalizada de la textura, corresponde a la utilización del Road Surface Tester (RST), equipo que mide macro y megatextura. Según la AIPCR (ref. 5), la megatextura afecta al control del vehículo y su estabilidad, al deterioro de neumáticos y las partes mecánicas del vehículo y al confort de rodadura.

	Longitud de Onda λ (mm.)	Amplitud (mm.)
MICROTEXTURA	0-0.5	0-0.2
MACROTEXTURA	0.5-50.0	0.2-10.0
MEGATEXTURA	50.0-500.0	1.0-50.0 (sic)
TABLA 1		

1. Scrims: Sideway Coefficient Routine Inventory Machine. APL: Analyseur de Profil Longitudinal. Groupe de Etudes Routières par Photographie. RST: Road Surface Tester.

2. Se realizó en 1992 en Bélgica y España.

3. IRRE: International Road Roughness Experiment, llevado a cabo en Brasil en 1982, dio lugar al desarrollo y puesta a punto del IRI.

Parece probable esperar que el citado experimento internacional sobre textura y deslizamiento aportará criterios generales y homologaciones en la medida de la textura; y también que se generalizará su incorporación a las bases de datos de los sistemas de gestión, debido a la gran cantidad de información sobre el comportamiento funcional del firme que se deriva de su análisis.

2.2. Auscultación estructural

La situación para la auscultación estructural (entendida como la medida de la resistencia del firme en el momento de la medida) es bastante más compleja e incierta a la hora de estudiar la programación para el sistema de gestión.

Todavía no se ha logrado, a nivel mundial, el desarrollo de técnicas de medida de gran velocidad, lo que limita la generalización de la auscultación a toda la red y obliga a aplicar criterios de muestreo estadístico (u otros más coyunturales e inespecíficos) en la selección de tramos para la evaluación. O bien a programar la auscultación estructural únicamente a Nivel de Proyecto.

Tampoco es sencillo establecer qué técnicas y equipos de medida son más recomendables y qué frecuencia mínima es necesaria o posible con los medios disponibles.

2.2.1. Deflexión

La deflexión (desplazamiento bajo la carga) es el parámetro que mejor se asocia a la resistencia estructural de un firme. Sin embargo su valor (normalmente expresado en centésimas de milímetro, 0.01 mm.) es función no sólo del tipo y estado del firme (lo que ocurre con la mayor parte de los equipos y técnicas de auscultación) sino también del método y equipo de medida; ello obliga a profundos estudios de correlaciones entre los datos, que por lo general concluyen sin acuerdo tras largas discusiones sobre los equipos, las técnicas de medida y los criterios estadísticos utilizados.

En la práctica española el valor patrón viene referido a la deflexión obtenida con Viga Benkelmann (NLT-356 / 79) realizándose el ensayo con una carga de 13 t y una presión de inflado elevada, 0.85 kPa, lo que no permite comparaciones directas con deflexiones obtenidas también con Viga Benkelmann, pero con otras hipótesis de carga (normalmente correspondientes a ejes de peso 8.2 [(18.000 kips) ó 10 t]). Además la



Equipo deflectógrafo.

Viga Benkelmann es un ensayo cuasi estático y puntual de muy bajo rendimiento. Su práctica parece cada vez más escasa en nuestro país.

Como alternativa a la Viga Benkelmann se utilizan equipos de gran "rendimiento" (por el número de puntos de deflexión por kilómetro —alrededor de 2*200 puntos—, no por el número de kilómetros ensayados al día, no más 12-14 km. de un carril) del tipo de los conocidos "Deflectógrafos Lacroix" de origen francés y de gran difusión en varios países, entre ellos España, donde constituyen la más usada y conocida práctica en la medida de las deflexiones.

Existe otra técnica de medida de la deflexión de utilización generalizada en USA y países del norte de Europa, que se realiza con los denominados "Deflectómetros de Impacto" (Falling Weight) siendo los más conocidos los desarrollados bajo los nombres de las casas fabricantes como el Dynatest, Phonix y KUAB, cuyo empleo para estudios específicos y sobre todo para pavimentos de hormigón es muy adecuado; la generalización de su empleo en España será resultado de diversas circunstancias que no es preciso examinar aquí.

No obstante hay que indicar que adolecen de las mismas limitaciones de rendimiento que los deflectógrafos Lacroix, y que en todo caso lo que no se debe hacer es utilizar simultáneamente deflexiones obtenidas con ambas técnicas de medida para la base de datos de una misma red.

Indicar finalmente que el único sistema de gestión operativo hasta la fecha en España, emplea para su base de datos las deflexiones obtenidas con Deflectógrafo Lacroix (ref. 6).

2.2.2. Deterioros (Inspección visual)

Si no resulta fácil elegir las técnicas o establecer los criterios y recomendaciones para la obtención de las deflexiones, aún más complejo resulta examinar como se puede realizar la actuación denominada genéricamente "Inspección Visual". Esta fase de la auscultación trata de conocer el estado del firme mediante el reconocimiento ocular de los deterioros existentes en la superficie.

En primer lugar se precisa decidir entre dos técnicas esencialmente diferentes:

1) La tradicional, deseada por los ingenieros a la antigua usanza según la cual la inspección visual ha de ser realizada por equipos humanos expertos capaces de levantar acta fiable del verdadero estado del firme.

2) Otra más actual, es la que los medios técnicos (fotografías, imágenes de video, cine, reproducción digital del

“**T**odavía no se ha logrado, a nivel mundial, el desarrollo de técnicas de medida de gran velocidad, lo que limita la generalización de la auscultación a toda la red y obliga a aplicar criterios de muestreo estadístico en la selección de tramos para la evaluación.”

pavimento mediante técnicas de no contacto como rayos láser, sensores ópticos, etc.) sustituyen a la hora de la auscultación (no del análisis) a los equipos humanos.

Es difícil decidirse por una u otra alternativa, ya que la primera es cada vez más difícil de realizar (por falta de expertos y de dinero para pagarlos) y la segunda todavía necesita de ciertas mejoras en la calidad de reproducción y en las técnicas de análisis numéricos de imágenes en soporte película.

Se puede decir que la primera representa el pasado, para muchos probablemente más ingenieril y entrañable, mientras que la segunda, siendo una opción de presente, es el camino del futuro, ya que las limitaciones técnicas van a quedar superadas en muy poco tiempo. Añadir que lo anterior no trata, ni desea sustituir al hombre por la máquina, sino exponer una "realidad" que debe ser aprovechada por el ingeniero para organizar la recogida de información, de calidad y suficiente, que le permita gestionar con eficacia su red de carreteras.

Los medios disponibles en este momento en España para realizar la inspección visual con medios automatizados de elevado rendimiento y bajo coste corresponden a los equipos GERPHO y ROAD SURFACE TESTER.

Se describen, enunciándolos únicamente, los aspectos ingenieriles de la medida de los deterioros. Es habitual y conveniente realizar una primera clasificación de los mismos atendiendo a su tipo de naturaleza (fisuración, rodadas, baches, etc.) para luego calificarlos y cuantificarlos en razón de su extensión (área dañada / sobre área examinada) y a su gravedad (de pequeña a gran importancia, anchura y profundidad de las fisuras, etc.). Cada sistema de gestión examinado tiene una clasificación propia de los deterioros, resultando a nuestro entender recomendable por su amplitud el método y criterio establecido por el programa SHRP en sus estudios sobre LTPP. La descripción detallada se puede encontrar en la bibliografía (ref. 7).

3. Resumen y conclusiones

Con objeto de no resultar excesivamente largo se ha optado por no incluir recomendaciones sobre la auscultación a nivel de proyecto, que puede ser mucho más personalizada e incluso independiente de la disponibilidad de grandes medios.

A modo de resumen se presentan una serie de tablas (2a, 2b, 3 y 4) que

Equipos de auscultación residentes en España de aplicación en sistemas de gestión

1. Nivel de red

Parámetro	Equipo
Deflexión	Deflectógrafo Lacroix
	Deflectómetro de impacto
	Curvímetro
Inspección visual (deterioros)	Gerpho
	Road Surface Tester
Regularidad superficial	APL
	Road Surface Tester
Deslizamiento	Scrim
Textura	Road Surface Tester

Tabla 2a

2. Nivel de proyecto

Además de los anteriores se pueden considerar los siguientes, correspondientes a equipos de pequeño rendimiento o ensayos puntuales.

PARAMETROS	EQUIPOS
DEFLEXION	VIGA BENKELMANN
DETERIOROS	INSPECCION VISUAL
REGULARIDAD	REGLA DE TRES METROS
	VIAGRAFO
	DIPSTICK
DESLIZAMIENTO	PENDULO TRRL
TEXTURA	MINITEXTUROMETRO
	MANCHA DE ARENA

Tabla 2b

Parámetros e indicadores de uso más frecuente en auscultación de firmes

PARAMETRO	INDICADOR	UNIDADES
DEFLEXION	DEFLEXION	0.01 mm.
DETERIOROS	VARIOS	(m ² /m ²) ⁴
REGULARIDAD	IRI	dm /hm
DESLIZAMIENTO	CRT	%
TEXTURA	AA	mm.

Tabla 3

recogen algunos datos de interés sobre mismo se incluye una fotografía de los los principales equipos citados. Así- equipos siguientes:

4 SHRP, Strategic Highway Research Program, LTPP, Long Term Pavement Performance.
5 Existen muy diversos modos de cuantificar los deterioros: la mayoría de ellos acaban por representar la superficie deteriorada sobre el total.

DEFLECTOGRAFO-SCRM-APL-RST.

De todas formas el lector habrá percibido la sugerencia de priorizar la auscultación funcional sobre la estructural (hablando a nivel de red), no tanto por razones técnicas, (que no podrían sostenerse) como por razones prácticas y económicas. En favor de esta postura se recoge una referencia en inglés, lo que siempre sirve de aval a lo que se expone. Así el TRRL Research Report 183, 1989 "Road Profile deterioration as an indicator of structural condition" expresa que "The rate of change in profile is directly related to the structural condition of a road pavement". La evolución de la regularidad superficial (TRI o cualquier otro parámetro) está relacionada con el estado estructural y permite cierto conocimiento de la resistencia del firme. Es esta una línea de investigación de las varias que hay abiertas en la técnica mundial, la cual también sigue trabajando en el desarrollo de equipos para la medida de las deflexiones a elevada velocidad y sin necesidad de control del tráfico.

Nos gustaría creer que lo expuesto en las páginas anteriores pueda servir para que los técnicos responsables de organizar la auscultación tengan un punto de vista adicional que considerar al planificar la conservación de su red de carreteras.

Referencias

1. Sayers M., Gillespie, T.D., and Queiroz C.A.V. (1986). "The International Road Roughness Experiment. Establishing Correlation and Calibration Standards for Measurements". Technical Paper 45. World Bank, Washington D.C.
2. Sayers M., Gillespie, T.D., and Paterson, W.D. (1986). "Guidelines for conducting and calibrating Road Roughness Measurement". Technical Paper 46. World Bank, Washington D.C.
3. Crespo del Río, R. y Pou Usallan, S. (1989). "Medida de la regularidad superficial. El Indicador IRI y el equipo Disprick". Ingeniería Civil Nº 72. Madrid.
4. Dirección General de Carreteras. 1989-1990. D.C. 308 / 89 CyE "Sobre recepción definitiva de obras" y D.C. 310 / 90 CyE "Pliegos de Prescripciones Técnicas y pavimentos de Hormigón Vibrado". MOPI. Madrid.
5. XVII Congreso Mundial de Carreteras. 1987. "Informe del Comité Técnico de Características Superficiales". AIPCR: Bruselas.
6. Criado Ballesteros, F.J. 1990. "Gestión de Firmes". I Simposium Nacional de Firmes Flexibles. Valladolid.
7. Smith, K. D., Darter M.L., Rauhut J. B. and Hall K.T. (1990) "Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies". SHRP-LTPP / FR-90-001. National Research Council. Washington, D.C.

Algunos datos de interés sobre equipos de auscultación

EQUIPO	OP	km / día	CT	PARAMETROS MEDIDOS
SCRM	2	200-300	NO	RESISTENCIA DESLIZAMIENTO
EQUIPO	OP	km / día	CT	PARAMETROS MEDIDOS
RST	2	300-500	NO	IRI-TEXTURA-RODERA-FISURAS-PERALTE-PENDIENTE-RADIO
EQUIPO	OP	km / día	CT	PARAMETROS MEDIDOS
DEFLECTOGRAFO. L	2-3	15-20	SI	DEFLEXION
EQUIPO	OP	km / día	CT	PARAMETROS MEDIDOS
APL	2	300-400	NO	IRI

Tabla 4

L. LACROIX

OP. OPERADORES. NUMERO DE PERSONAS CON EL EQUIPO ENSAYANDO

CT. CONTROL DEL TRAFICO. INDICA SI SE PRECISA CONTROL DE TRAFICO DURANTE EL ENSAYO.

Esquema genérico de auscultación de firmes de carreteras

- | | |
|--|---|
| <p>I. Auscultación estructural</p> <p>A. Medida de deflexiones</p> <p>1. Deflexión</p> <p>B. Medida de deterioros</p> <p>1. Fisuración</p> <p>2. Roderas</p> <p>3. Otros deterioros</p> <p>II. Auscultación funcional</p> <p>A. Medida de resistencia al deslizamiento</p> | <p>1. Coeficiente de rozamiento transversal (CRT)</p> <p>B. Medida de la regularidad superficial</p> <p>1. Índice de regularidad internacional (IRI)</p> <p>C. Medida de la textura</p> <p>1. Microtextura</p> <p>2. Macrotextura</p> <p>3. Megatextura</p> |
|--|---|

6. La definición de tipos de deterioros es un campo muy amplio que se escapa del alcance del presente trabajo. Ya que están intrínsecamente ligados al tipo y naturaleza de los firmes.



Equipo Scrim..