

IAG306-07-2013
GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS
BASADA EN INDICADORES DE DESEMPEÑO
GESTÃO DO CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTO DE ASFALTO
BASEADO EM INDICADORES DE DESEMPENHO

José Antonio Ramos García
Grupo Euroconsult
Madrid, España
jramosg@euroconsult-group.com

Fernando Sánchez Domínguez
Grupo Euroconsult
Madrid, España
fsanchezd@euroconsult-group.com

Miguel Gavilán Velasco
Grupo Euroconsult
Madrid, España
mgavilanv@euroconsult-group.com

Resumen

Las nuevas tendencias en la conservación de pavimentos van dirigidas al desarrollo de una gestión de la conservación basada en indicadores de desempeño. Por indicador se entiende el valor que define la calidad del servicio que se presta al usuario de la vía o el estado en el que se encuentran los componentes de la misma. Cada indicador debe recoger el servicio o elemento al que hace referencia, el valor que define el umbral mínimo a alcanzar para garantizar su cumplimiento, el método de medición del indicador, el tiempo máximo disponible para restablecer el valor mínimo desde la detección del incumplimiento y los criterios de penalización / bonificación.

La conveniencia de la aplicación de indicadores a los modelos de gestión de la conservación parece, en primera instancia, bastante clara. No obstante, los indicadores tienen que estar perfectamente definidos y ser lo más sencillos posible, como es el caso de los que afectan a los deterioros del pavimento que condicionan la resistencia al deslizamiento o la regularidad longitudinal.

Un indicador no se debe considerar como tal si no evoluciona en el tiempo y/o no permite hacer una conservación preventiva. Con este criterio, en el documento se revisan los principales indicadores de desempeño de características superficiales del pavimento que se están aplicando en la actualidad, para valorar su idoneidad y las condiciones de medida en que se deben desarrollar. Se analizan indicadores simples, como la macrotextura y la drenabilidad (proyección

de agua) así como otros más complejos como el estado de fisuración. Se presentan los métodos de medida y las nuevas tendencias normativas y en medición.

Por último, se estudian las principales características de los indicadores que rigen los vigentes contratos de concesión de, aproximadamente, 2000 km de red de las denominadas autovías de primera generación españolas (cuentan con 41 indicadores, 11 de ellos referidos al pavimento).

Resumo

As novas tendências na conservação de pavimentos visam o desenvolvimento de uma gestão de conservação baseada em indicadores de desempenho. O indicador representa o valor que define a qualidade do serviço que se dispõem ao usuário da via ou o estado em que se encontram os componentes da mesma. A cada indicador se deve buscar o serviço ou elemento a qual se faz referência, o valor que define o limite mínimo a alcançar para garantir seu cumprimento, o método de medição do indicador, o tempo máximo disponível para restabelecer o valor mínimo desde da detecção de não cumprimentos e os critérios de penalização e bonificação.

A conveniência de aplicação de indicadores a modelos de gestão de conservação parece, a princípio, bastante clara. Entretanto, os indicadores tem que estar perfeitamente definidos e serem os mais simples possível, como é o caso dos que afetam as deficiências do pavimento que condicionam a resistência al deslizamento ou a irregularidade longitudinal.

Um indicador não deve se considerar como tal se não evolui com o tempo e ou não se permite fazer uma conservação preventiva. Com este critério, no documento se revisam os principais indicadores de desempenho que se estão aplicando na atualidade, para avaliar sua idoneidade e as condições de medida em que se devem desenvolver. Se analisam indicadores simples, como a macrotextura e a drenabilidade (projeção da água) assim como outros mais complexos como o estado de fissuração. Se apresentam os métodos de medida e novas tendências normativas e em medição.

Por último, se estudam as principais características dos indicadores que regem os contratos vigentes de, aproximadamente, 2000 km de rede das denominadas autovias de primeira geração espanholas (contam com 41 indicadores, 11 desses relacionados ao pavimento).

INTRODUCCIÓN

En este documento se tratan los sistemas y herramientas para la evaluación de las características superficiales y su aplicación a los sistemas de gestión de pavimentos. Para ello se utilizan como base la propuesta de indicadores que figura en el informe europeo COST 354, 2008, así como los documentos técnicos de una singular e importante concesión para la renovación, gestión y mantenimiento de la Red de Carreteras del Estado española (Ministerio de Fomento, 2007), aplicables en un periodo total de 20 años (3 años de obras para la mejora de las infraestructuras y 17 años para su explotación) que actualmente se está llevando a cabo.

A continuación se analizan detalladamente los indicadores, centrándose principalmente en el método de medida, aunque de este análisis se desprenderán algunas anotaciones sobre el tiempo

de actuación para reparar los deterioros así como sobre los plazos que se definen para su evaluación periódica.

A lo largo de todo el documento se utilizarán frecuentemente algunos conceptos, como “indicador de servicio”, “indicador de calidad” y “parámetro técnico”, que el informe COST 354, 2008, define de la siguiente manera:

- **Indicador de estado o servicio**: Término superior de una característica técnica de la carretera (deterioro) que indica el estado en el que se encuentra (por ejemplo, las irregularidades transversales, la resistencia al deslizamiento, etc.). Puede expresarse como un parámetro técnico (dimensional) y/o como un índice (adimensional).
- **Parámetro técnico**: Característica física del estado del pavimento de la carretera, deducida de varias medidas o registrada mediante otros métodos de investigación (por ejemplo, profundidad de rodera o valor de fricción).
- **Función de transparencia**: Función matemática utilizada para transformar un parámetro técnico en un índice de estado adimensional.

REGULARIDAD LONGITUDINAL

Independientemente de la definición que se indica en el COST 354, 2008, sobre las longitudes de onda de las irregularidades, que corresponde más a la definición de un parámetro técnico, el indicador “regularidad longitudinal” valora la comodidad de la rodadura de los vehículos sobre el pavimento.

A la regularidad longitudinal, ya desde hace varios años se le ha prestado mucha atención debido a la importancia que tiene en la durabilidad del pavimento, así como por su influencia en la comodidad y sensación de calidad de la carretera que proporciona al usuario. De la misma forma, existen muchos equipos de medida sin contacto y de alto rendimiento que permiten obtener los perfiles de la carretera para calcular el parámetro técnico y posteriormente calcular el indicador.

Cuando se analizan diferentes pliegos de los contratos por indicadores, se comprueba que el parámetro técnico más implantado para valorar la regularidad es el IRI (International Roughness Index). El IRI tiene como ventaja la universalidad y difusión, con mucha experiencia también entre los valores obtenidos de la auscultación y los modelos evolutivos de los sistemas de gestión de pavimentos. El inconveniente es que se ha comprobado que no es un parámetro técnico apropiado para detectar irregularidades o discontinuidades periódicas del perfil así como irregularidades puntuales dentro de éste. Cuando se persigue la detección de irregularidades puntuales es habitual generar alguna media deslizante como la que se observa en la Figura 1, que permite detectar, usando el propio IRI, dónde se producen puntualmente las irregularidades y cómo afectan éstas a la evaluación de los 100 metros en los que se promedia.

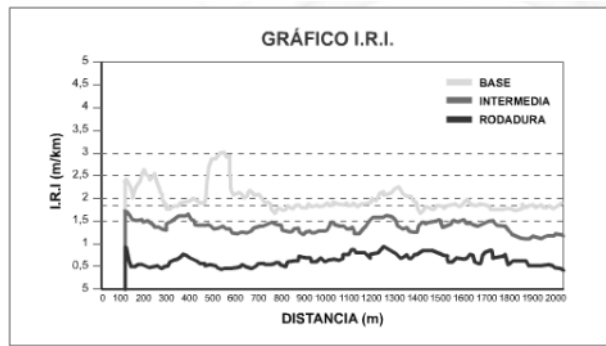


Figura 1: Gráfico de IRI deslizando o móvil medido durante la construcción en distintas capas

En cuanto a la medida, y para conseguir que ésta sea de calidad, se deberá tener en cuenta la exactitud de la distancia recorrida, la resolución vertical del sensor, el intervalo de muestreo y los filtros utilizados antes de realizar el cálculo del IRI propiamente dicho.

En algunos pliegos existe indefinición en el intervalo de repetición para informar del valor del IRI y la posición de la medida del perfil (valor de la rodada derecha, izquierda, media de ambos o máxima) así como en lo que corresponde al tratamiento del inicio y final de tramo o el análisis de los puntos singulares (estructuras, rotondas, etc.) que pueden aparecer en los tramos auscultados. También cabe indicar que la medida del perfil en los equipos láser debe realizarse de forma continua, sin detenerse, o disponer de algoritmos adecuados para corregir las reducciones puntuales de velocidad que producen errores en la medida de los acelerómetros. Es por ello que en el indicador no debe solamente definirse cuál será la función de transformación del IRI para obtener el indicador, sino también detallar exactamente cómo se evaluará el parámetro técnico en el tramo medido.

En el proyecto de la nueva norma europea EN 13036-5, se incluyen algunos otros parámetros técnicos que complementarán o sustituirán al IRI, ya que corrigen algunas de sus carencias, como el análisis de bandas de onda (utilizado desde hace tiempo en algunos países como Francia), la Densidad Espectral de Potencia (DSP) del perfil o la incorporación de algunos otros perfiles longitudinales ponderados, como el WLP (Weighted Longitudinal Profile) que se utiliza en Alemania y Austria.

REGULARIDAD TRANSVERSAL

La regularidad transversal es la medida de las irregularidades o deformaciones de la carretera en el ancho del carril. Al igual que el perfil longitudinal, éste también es un parámetro que se ha evaluado a alto rendimiento desde hace ya varios años y existen muchos equipos en el mercado que permiten su medida.

En los últimos años ha habido un gran desarrollo de los sistemas que miden el perfil llegando incluso a poder realizarse un escaneo del perfil transversal cada milímetro y tomando una muestra sobre un ancho de 4 m con una resolución transversal también de 1 mm y a la velocidad del tráfico. Estas nuevas tecnologías están mostrando la necesidad y oportunidad de cambiar la

definición de los parámetros técnicos que se están utilizando actualmente para la obtención del indicador de Regularidad Transversal, permitiendo pasar a unos más sencillos y precisos.

Como parámetro técnico se considera normalmente (y así figura en el documento COST 354, 2008, y en todos los pliegos de indicadores españoles) la profundidad de la rodera evaluada mediante la utilización de una regla colocada perpendicularmente a la dirección del tránsito.

En cuanto a la medida del perfil hay que considerar la importancia que tiene el número de sensores que se utilizan para definir el perfil transversal, existiendo más error cuantos menos sensores se empleen (Bennett, 2002). Esta incertidumbre se elimina en gran parte si se emplea alguno de los sistemas que miden el perfil con un gran número de puntos, y que actualmente se está generalizando su uso. Estos equipos miden, como se observa en la Figura 2, con una cámara de alta velocidad la deformación que sufre una línea láser proyectada sobre el pavimento y registran el perfil transversal con una gran resolución.

Sin embargo, aunque dicho registro del perfil transversal tenga una gran resolución en x-y-z, se requiere que se precise también: la resolución vertical mínima, la resolución horizontal (distancia recorrida), el intervalo de muestreo transversal de adquisición (distancia entre sensores en el caso de los equipos puntuales) y el intervalo de repetición de adquisición (número de secciones o cortes transversales del carril adquirido). También hay que tener en cuenta el ancho en el que se mide el perfil transversal, ya que para el cálculo de la profundidad de la rodera, el distinto apoyo de la regla sobre el perfil puede variar el resultado.

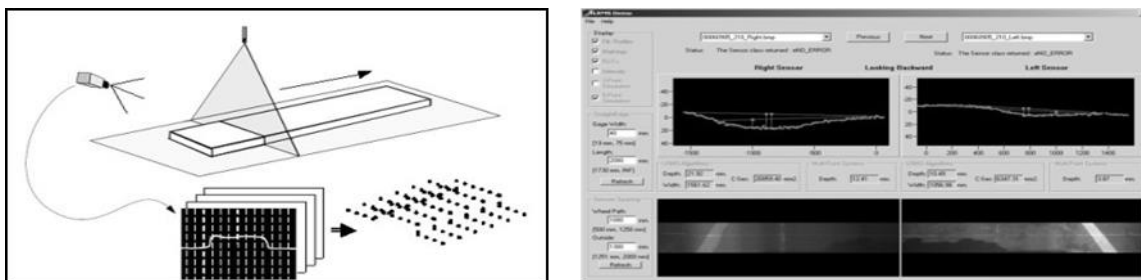


Figura 2: Principio de medida de los sistemas de láser lineales y cálculo de las roderas

Por tanto será necesario un esfuerzo regulador en las normas europeas. En España se están realizando ya ensayos de intercomparación entre los sistemas clásicos de láseres puntuales y los sistemas de alta resolución, con el objeto de poder comparar los diferentes resultados.

TEXTURA

Como textura de un pavimento se entiende la desviación de su superficie con respecto a una superficie perfectamente plana, dentro de las distintas gamas de longitud de onda. Una textura rugosa facilita la evacuación del agua, especialmente con neumáticos lisos, oponiéndose a que el agua se vaya acumulando delante del neumático y facilitando su expulsión lateral. El hidroplaneo (aquaplaning) también está fundamentalmente asociado a la macrotextura del pavimento. Por ello la macrotextura es un indicador que normalmente se evalúa conjuntamente con la resistencia al deslizamiento y con la drenabilidad.

Como sistemas de medida habituales de textura se emplean los métodos volumétricos y perfilométricos. El método volumétrico consiste en extender sobre el pavimento un volumen determinado de material granular y, a partir de dicho volumen y del área cubierta por el mismo sobre el pavimento, se calcula la profundidad media de los huecos rellenos, definida como profundidad media de la textura (MTD). El método está muy aceptado a nivel mundial pero tiene como principal inconveniente que es una medida estática que requiere mucho tiempo y en la que se pueden producir variaciones en los resultados debidas al operador y a diferencias locales de textura.

Por su parte, el método perfilométrico consiste en el análisis del perfil obtenido con texturómetros láser, equipos de alto rendimiento que cuentan con un sensor láser capaz de medir en continuo el perfil del pavimento. El sensor láser realiza la medida, sin contacto, de la distancia entre un nivel de referencia y la superficie del pavimento, denominada profundidad del perfil (PD). El valor medio de PD sobre una distancia determinada (línea de base) se define como profundidad media del perfil (MPD), tal y como se observa en la Figura 3.

Este método de medida está recogido en distintas normativas internacionales y, al igual que el método volumétrico, también está muy implantado a nivel de red. Como desventajas presenta que no existe una correlación clara con la MTD y que pueden presentarse variaciones locales de textura en función de la zona de medida en el carril (zona de rodada o centro de carril).

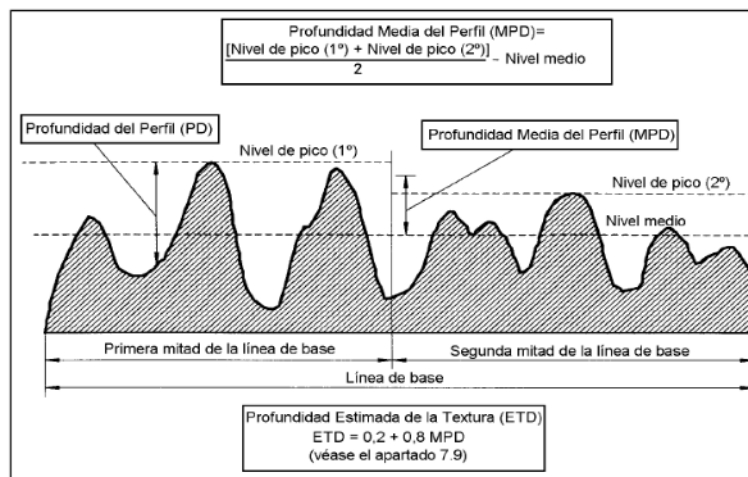


Figura 3: Definición de MPD (EN-ISO 13473-1)

En España el pliego que rige la gestión de los indicadores de las autovías españolas de 1ª generación, establece una medida anual, en verano, de la macrotextura superficial, utilizando la técnica volumétrica, y admitiendo la medición con equipos de alto rendimiento que permitan obtener valores equivalentes a los del círculo de arena.

Por su parte, en el COST 354 también figura la macrotextura como indicador. El parámetro técnico propuesto es la MPD (obtenido según la UNE-EN ISO 13473-1 con método perfilométrico), si bien existen otros posibles parámetros técnicos como la MTD obtenida con método volumétrico siguiendo la UNE-EN 13036-1.

Como se puede observar, los pliegos siguen recogiendo los resultados obtenidos con método volumétrico pese a ser un ensayo puntual y con un rendimiento muy reducido. Esto se debe a que la correlación establecida por Wambold et al., 1995 en el experimento internacional de la AIPCR entre el método volumétrico y el perfilométrico, incluida en algunas normas como la UNE-EN ISO 13473-1 (ver Figura 3), no resulta siempre satisfactoria. Esto obedece, principalmente, a las diferencias conceptuales entre ambos métodos, lineal y volumétrico respectivamente.

Ante la dificultad de correlacionar dichos ensayos, ha surgido la necesidad de investigar nuevos sistemas de auscultación que permitan análisis superficiales del pavimento en 3D. Utilizando el mismo sistema que se describe en el apartado del perfil transversal, se puede obtener la textura del pavimento en una superficie y no únicamente en una línea de medida, lo que elimina uno de los principales problemas de correlación entre los métodos volumétrico y perfilométrico. Dicho sistema utiliza la unión de perfiles consecutivos para la reconstrucción en 3D de la superficie del pavimento al nivel de la textura, tal y como se muestra en los ejemplos de la Figura 4.

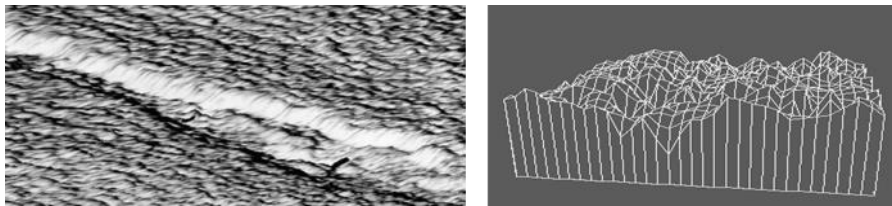


Figura 4: Ejemplos de reconstrucción en 3D

A este respecto, Laurent J. et al, 2009, proponen un parámetro técnico a utilizar con estos perfiles 3D en el cálculo de la macrotextura, mediante la simulación con un método digital del círculo de arena a todo lo largo y ancho del carril. De esta forma se puede aplicar el método volumétrico a la velocidad del tráfico y a nivel de red sin que haya variaciones locales, ya que el análisis abarca todo el ancho de carril entre las marcas viales.

PERMEABILIDAD DEL PAVIMENTO

La permeabilidad del pavimento es un indicador muy asociado a la textura y al ruido, pero que sin embargo no se recoge en el informe COST 354, 2008, y en los contratos por indicadores españoles solamente se mide con carácter informativo. La acumulación de agua en el pavimento compromete la seguridad y el confort de la conducción. Para aumentar la adherencia rueda-pavimento, la capa de agua que se forma en el contacto es evacuada por los canales de las ruedas, proyectando agua a los vehículos que circulan por la carretera.

Algunas estadísticas consideran que el 10% de los accidentes que se producen en condiciones de lluvia están debidos a la pérdida de visibilidad por la proyección de agua. Aunque no son las mayores cifras que se manejan para la resistencia al deslizamiento (que podrían estar entre el 15 y el 35%) es un fenómeno muy importante a considerar.

La permeabilidad de los pavimentos puede medirse puntualmente (según lo recogido en las normas EN 12697 y la norma española NLT 327). Actualmente se están desarrollando sistemas, como el descrito por Pérez Jiménez et al., 2011 (Figura 5), que utilizan como tecnología el

análisis de imagen para calcular de forma continua, e integrándose en el tráfico, el número de gotas salpicadas.

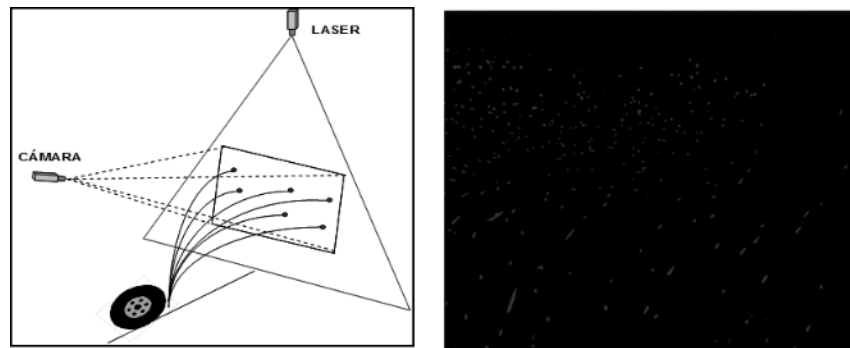


Figura 5: Esquema del principio de medida y sistema de ensayo

La proyección de agua es a la vez una medida indirecta de la permeabilidad de la capa de rodadura, de la textura y de la absorción del ruido por el pavimento. Este tipo de sistemas permitirá valorar cómo se deteriora la drenabilidad de las mezclas abiertas con el paso del tiempo por colmatación de los poros de la mezcla bituminosa. Con estos nuevos sistemas habrá que definir qué parámetros técnicos permitirán hacer una valoración del indicador de drenabilidad de los pavimentos.

FISURACIÓN Y DEFECTOS SUPERFICIALES

La obtención de un indicador de la fisuración y de los defectos superficiales requiere un primer análisis y clasificación de los deterioros que se observan en el pavimento, por lo cuál su definición es más compleja que la de otros indicadores que se han tratado anteriormente. El objetivo del indicador será controlar bajo un umbral los deterioros que aparecen en el pavimento, pero dada la gran variedad de degradaciones posibles se recurre en primer lugar a obtener un parámetro técnico de fisuración y otro de deterioros para posteriormente combinarlos.

En el informe COST 354, 2008, la definición del parámetro técnico de fisuración contempla que se registrarán elementos de superficie, lineales y puntuales, ponderándolos por su gravedad (alta para fisuras en piel de cocodrilo y media para transversales y longitudinales por ejemplo) y posteriormente se convierten en áreas afectadas.

En parte, es probable que la definición de indicadores y parámetros técnicos tan complejos en fisuración y deterioros esté derivada de los sistemas de inspección de degradaciones de que se disponía hasta el momento. Sin embargo, actualmente se cuenta con imágenes de pavimento de alta resolución que, sobre la superficie escaneada y con algoritmos apropiados, pueden calcular superficies afectadas por la fisuración y los deterioros de forma detallada, incluso dividiendo en cinco bandas el carril y separando las rodadas. Los sistemas láseres lineales descritos anteriormente, que permiten obtener una reconstrucción 3D del pavimento, simplifican el análisis automático de detección de deterioros y fisuras. Los algoritmos pueden separar claramente, por ejemplo, grietas selladas de grietas abiertas, y en los firmes rígidos calcular el escalonamiento entre juntas. Con estos sistemas en los que se puede automatizar, sin errores de cálculo, toda la

superficie escaneada en el ancho de carril, se podrían redefinir los indicadores de fisuración y defectos superficiales para simplificarlos y que fueran reflejo real del estado del pavimento y de su vida útil.

En el caso de la fisuración, en España se considera que el plazo de medición debe de ser cada 6 meses, debido a la importancia que tiene la pronta detección de zonas deterioradas. Las fisuras y otros deterioros son causa directa de que el agua procedente de la lluvia pueda penetrar directamente en las capas granulares, lo que supone, para el pavimento y su cimiento, un daño casi tan grande como el producido por el tráfico.

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

La resistencia al deslizamiento es la medida de las propiedades de adherencia entre el neumático y el pavimento a través de su coeficiente de rozamiento. En la práctica europea se utilizan dos formas de medir el coeficiente de rozamiento: una, el coeficiente de rozamiento transversal (CRT) enfocado a los problemas de deslizamiento en curvas, y otra, el coeficiente de rozamiento longitudinal (CRL), dirigido al deslizamiento en tramos rectos. En general, en carreteras se utiliza usualmente el primero por ser más peligrosas las salidas de los vehículos de las carreteras que los alcances. Aunque tienen valores similares no existe una relación directa entre ellos, y así en el informe COST 354, 2008, se valora el indicador de resistencia al deslizamiento dependiendo del tipo de coeficiente de rozamiento que se haya medido.

Para valores del indicador buenos, el CRT es más pequeño que su equivalente en CRL, mientras que para valores del indicador malos, se ha cambia la situación y el CRT es mayor que el CRL. Esto indica que la relación entre ambos no es lineal sino bastante más compleja. En cierta medida, ésta es la causa por la que en algunos países como España, donde existe una tradición de medida del CRT para la recepción de obras nuevas y durante la conservación, los indicadores incluyen solamente la medida del parámetro técnico CRT, y fundamentalmente con un único sistema de medida (SCRIM).



Figura 6: Sistema de medida SCRIM

En los contratos de conservación por indicadores de las autovías de 1ª generación españolas, el indicador usado y aceptado es el coeficiente CRT medido con SCRIM o equipo equivalente. Se obtiene una medida cada 20 m, y cada una de ellas se considera como valor puntual, aunque realmente el valor es la media de los obtenidos durante estos 20 m. La toma de datos debe realizarse a una velocidad de 50 km/h aunque permite variaciones en dicha velocidad siempre dentro de unos límites y aplicando las correcciones necesarias.

El indicador CRT se mide en estos contratos 3 veces al año (marzo, junio y septiembre). Con estas mediciones se quiere considerar la importancia del factor estacional que claramente afecta a este indicador, ya que en España el régimen pluviométrico cambia significativamente por estaciones, y así mismo la variación de temperatura también es muy elevada.

CONCLUSIONES

Se ha mostrado que al analizar los indicadores de la calidad superficial de los pavimentos y los parámetros técnicos que se utilizan para su evaluación, es necesario definir claramente cuáles deben ser las condiciones de medida y su cálculo en post-proceso. Se requiere disponer de indicadores que evolucionan con el tiempo para dar información del estado superficial y estructural de la infraestructura. Los sistemas de medida y los parámetros técnicos obtenidos deben perseguir la idea de aplicación de una conservación preventiva. Será necesario definir nuevos indicadores y parámetros técnicos, ahora que se dispone de sistemas de cálculo y análisis muy potentes, así como de nuevos equipos que permiten medir a alto rendimiento indicadores complejos como por ejemplo la drenabilidad, la fisuración, el perfil transversal y la textura en 3D. También cabe destacar que es necesario hacer un esfuerzo de intercomparación de equipos y de aseguramiento de calidad de las medidas para garantizar que el sistema de seguimiento de la calidad de la infraestructura con indicadores es el mejor método para conservar nuestras carreteras.

REFERENCIAS

- Bennett, C.R. (2002) "Establishing Reference Transverse Profiles for Rut Depth Measurements in New Zealand" Data Collection Limited, 2002, New Zealand.
- European Commission (2008): Cost 354. The way forward for pavement performance indicators across Europe. Performance Indicators for Road Pavements. Final report. ISBN 978-3-200-01238-7. Austria: FSV – Austrian Transportation Research Association.
- Laurent J. et al (2012): "Using 3D laser profiling sensors for the automated measurement of road surface conditions (ruts, macro-texture, raveling, cracks)". 7th Rilem International conference on cracking pavements. Delft (The Netherlands).
- Ministerio De Fomento. Dirección General De Carreteras (2007): Pliego de cláusulas administrativas particulares de los contratos de autovías de 1ª generación. Madrid: Dirección General de Carreteras. Centro de publicaciones.
- Pérez Jiménez, F., Martínez, A., Sánchez Domínguez, F., Ramos García, J.A. System for measuring splash on wet pavements. In: 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board (TRB), Washington D.C. January, 2011.
- Wambold, J.C., Antle, C.E., Henry, J.J., Rado, Z., Descornet, G., Sandberg, U., Gothié, M. and Huschek, S. (1995): Experimento internacional AIPCR de comparación y armonización de las medidas de la textura y la resistencia al deslizamiento. Informe final nº 01.04 T, Comité Técnico de Características Superficiales, Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR), París.