

IAG307-05-2013
RECIENTES EXPERIENCIAS EN LA EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD
ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN IBERO-
LATINOAMÉRICA
EXPERIÊNCIAS RECENTES NA AVALIAÇÃO DO CAPACIDADE
ESTRUTURAL DE PAVIMENTO DE ASFALTO EM IBERO-
LATINOAMERICA

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

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

Juan José Orozco y Orozco
Orva Ingeniería
México D.F., México
jjorozco@orvaingenieria.com

Resumen

La capacidad estructural de un pavimento asfáltico se determina a partir de la información que aporta el cuenco de deflexiones sobre el tamaño, la forma y la profundidad de la deformación que se produce en la superficie del pavimento cuando se somete a una carga determinada. Las deflexiones son esenciales para la estimación del módulo resiliente de los materiales y de la vida residual del pavimento, lo que determina su capacidad de soporte al paso del tráfico durante un determinado periodo de tiempo. Se utilizan, junto con otros parámetros característicos del pavimento, para la toma de decisiones sobre las medidas de conservación o rehabilitación necesarias.

En el documento se revisan los principales equipos de auscultación de deflexiones que se están utilizando en la actualidad y sus posibles campos de aplicación, desde el control de ejecución de las distintas capas que componen el pavimento y su cimientado hasta la gestión de la conservación. El estudio comparativo analiza, entre otras cosas, el tipo de información que facilita cada equipo, su rendimiento en la toma de datos (el disponer de un número elevado de datos permite la realización de análisis estadísticos) y su afección a la seguridad vial, especialmente importante en el caso de carreteras abiertas al tráfico.

De la misma forma, se recogen los principales ensayos comparativos entre equipos de medida de la deflexión que se han realizado en los últimos años en Ibero-LatinoAmérica con la intención de armonizar los datos obtenidos con los distintos sistemas de medida.

Por último, se exponen algunas evaluaciones de los resultados obtenidos respecto a la auscultación del cuenco de deflexiones y la posterior determinación de la vida residual de los pavimentos asfálticos, en función de la normativa o metodología empleada en cada caso.

Resumo

A capacidade estrutural de um pavimento asfáltico se termina a partir da informação que apresenta a bacia de deflexão a respeito do tamanho, forma e profundidade de deformação que se produz na superfície do pavimento quando esse se submete a uma carga determinada. As deflexões são essenciais para a determinação do módulo de resiliência dos materiais e da vida residual do pavimento, na qual determina sua capacidade de suporte ao tráfego durante um determinado período de tempo. Se utilizam junto com outros parâmetros característicos do pavimento, para a tomada de decisões sobre as medidas de conservação ou reabilitações necessárias.

No documento se revisam os principais equipamentos de auscultação das deflexões que se estão utilizando na atualidade e seus possíveis campos de aplicação, desde do controle de execução das distintas camadas que compõem o pavimento e sua fundação até a gestão de conservação. O estudo comparativo analisa, entre outras coisas, o tipo de informação que proporciona cada equipamento, seu rendimento na obtenção de dados (ao dispor de um número elevado de dados permite a realização de análises estatísticas) e sua condição quanto a segurança viária, especialmente importante a rodovias liberadas para o tráfego.

Da mesma forma, se obtém os principais ensaios comparativos entre equipamentos de medida da deflexão que se tem realizado nos últimos anos na Ibero-Latina América com a intenção de harmonizar os dados obtidos com os distintos sistemas de medidas.

Por último, se apresentam algumas avaliações dos resultados obtidos a respeito da bacia de deflexão e a posterior determinação da vida residual dos pavimentos asfálticos, em função da metodologia empregada em cada caso.

MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN

La capacidad de soporte de una carretera no es posible medirla directamente, pero puede calcularse a partir de la información que aporta el cuenco de deflexiones sobre el tamaño, la forma y la profundidad máxima de la deformación que se produce en la superficie del pavimento cuando la carretera se encuentra sometida a una carga determinada. Las deflexiones del pavimento son esenciales en la determinación de la capacidad para soportar el paso de los vehículos pesados y definir el estado estructural de la carretera.

La idea de capacidad portante no está limitada exclusivamente al comportamiento global del pavimento de una carretera sino que debe ser considerada en cada una de las capas que componen el pavimento desde su cimiento hasta la capa de rodadura, es decir, se trata de un concepto que surge en la etapa de proyecto e incluye todas las fases constructivas. No obstante, este concepto se encuentra muy ligado a la gestión de carreteras en servicio y a los proyectos de rehabilitación de pavimentos.

EQUIPOS DE MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN: CAMPOS DE APLICACIÓN

Para la auscultación de las deflexiones de los pavimentos se han desarrollado en los últimos 50 años distintos equipos, diferenciados entre sí principalmente por el tipo de carga aplicada, la velocidad de aplicación de la misma y la duración del ensayo.

Inicialmente se desarrolló el equipo viga Benkelman que consiste esencialmente en el registro, con la ayuda de un medidor de deformación, de la deflexión producida en un punto de la superficie por la acción de la carga de un camión (que puede variar por ejemplo entre las 13 t de España y las 8.2 t de Brasil) sobre el pavimento. El ensayo se realiza deteniendo el camión a distancias determinadas y leyendo el comparador de deformación. Actualmente, al disponerse de vigas Benkelman instrumentadas se puede registrar en continuo también todo el cuenco de la deflexión.

Sin embargo el bajo rendimiento de la viga Benkelman es un gran inconveniente, por lo que está tendiendo actualmente su uso a estudios de correlación o patologías de pavimentos localizadas, y ha inducido al desarrollo de equipos de auscultación más eficaces como se verá a continuación.

Dependiendo de las características de los equipos, los datos que proporcionan éstos pueden utilizarse, entre otras aplicaciones, en la evaluación de las necesidades de rehabilitación de las carreteras.

En general se consideran normalmente tres campos de aplicación para la medida de la deflexión en función de la velocidad en la toma de datos de los equipos así como en la precisión de los mismos. La primera aplicación es el control de la construcción de las diferentes capas bituminosas determinando su capacidad de soporte según son extendidas en obra. La segunda aplicación es el análisis de los pavimentos a nivel de proyecto, para la toma de decisiones técnicas en el diseño de rehabilitaciones y finalmente la tercera aplicación es la de gestionar los pavimentos, realizando una revisión general de las condiciones estructurales y planificando los presupuestos plurianuales, una vez analizado el estado de la red.

COMPARACIÓN DE LAS DISTINTAS CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS PARA LA MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN

Dentro de los distintos equipos de auscultación que se han desarrollado para la medida de la deflexión en pavimentos bituminosos, describimos a continuación las características principales de los más utilizados en la actualidad.

Aparte de la viga Benkelman, que se ha tratado anteriormente, la tabla muestra cuáles son las características generales de los principales equipos que se encuentran actualmente en el mercado. Las características que se reflejan condicionan su mayor o menor campo de aplicación (construcción, proyecto o red).

Tabla 1: Equipos para la medida de la deflexión

Equipo de medida	Normativa	Velocidad de medida	Frecuencia de medida
Viga Benkelman	NLT 356, 1988 DNER-ME 024/94	Equipo puntual	1 dato en cada punto de ensayo
Deflectómetro de Lacroix	NLT-337, 1992	2 – 4 km/h	1 dato cada 5 m
Deflectógrafo de Impacto	NLT-338, 2007 DNER-PRO 273/96	Equipo puntual	1 dato en cada punto de ensayo
Curviómetro	NLT-333, 2006	18 km/h	1 dato cada 5 m
Deflectómetros Laser Experimentales	-	Tráfico	Valor continuo de la pendiente

Deflectógrafo Lacroix

El Deflectógrafo Lacroix es un equipo de auscultación que está basado en el mismo principio de medida de la deflexión que la viga Benkelman y consiste en una estructura con forma de T de referencia que se acopla entre los ejes de un camión y se desplaza siguiendo el movimiento del mismo.

La carga del eje es normalmente de 13 t, adaptándose hasta 8 t en función de la normativa aplicable en cada país. A lo largo de los años, se han ido desarrollando distintos modelos que proporcionan medidas diferentes debido a la tipología del camión portador (chasis corto o largo). La velocidad de medida es baja y está comprendida por lo general entre 2 y 4 km/h cuando se muestrea cada 5 m ya que se necesita colocar la estructura de la viga delante de la carga y conseguir la estabilización de los sensores que instala.

El Deflectógrafo Lacroix es un equipo que desde sus orígenes se está utilizando en Europa. Sin embargo, su baja velocidad y la necesidad de tener que cerrar el carril por el que circula durante el ensayo dificulta su empleo a nivel de red.

Deflectómetro de Impacto

El Deflectómetro de Impacto, al igual que la viga Benkelman, es un equipo de medida de la deflexión puntual, que realiza el ensayo situándose en cada punto elegido. Sin embargo, el principio es totalmente distinto a los deflectógrafos ya que el sistema está constituido por una masa que, al caer, provoca un impacto sobre un sistema de amortiguamiento elástico, consiguiendo generar así una onda de carga sobre el pavimento que simula la carga generada por el paso de un eje pesado en movimiento. El equipo cuenta con una serie de sensores (geófonos o medidores de deformación) que miden las deflexiones verticales que produce en el pavimento la onda de carga generada, tanto en el centro de la placa como en diversas posiciones radiales a distintas distancias del centro de la misma.

En todo el mundo el número de deflectómetros de impacto existente es muy significativo, al igual que en todos los países ibero-latinoamericanos, lo que hace que haya mucha experiencia y bibliografía sobre empleo de estos equipos para la medida de la deflexión. Sin embargo, al ser un ensayo puntual su lentitud no lo hace recomendable para su uso a nivel de gestión de red. Su aplicación está limitada al seguimiento de la construcción y al análisis de pavimentos a nivel de proyecto.

Curviámetro

El curviámetro es un sistema de medida compuesto por una cadena de tipo oruga que, mediante los mecanismos necesarios, gira de forma sincronizada con el camión en el que se instala. Dicho camión, como se ve en la Figura 1, cuenta con dos ejes, separados 5 m entre sí, cuyo eje trasero (eje simple con ruedas gemelas) está lastrado con una carga (F) que se puede ajustar a voluntad entre 8 t y 13 t, según lo recogido en la normativa de cada país.

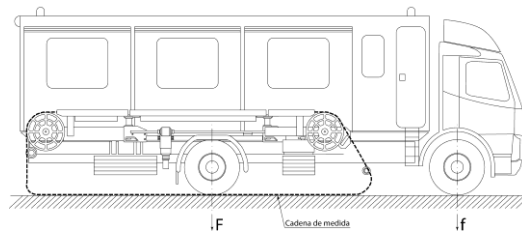


Figura 1: Esquema general del equipo curviámetro (NLT-333/06)

La adquisición de datos se realiza a una velocidad de 5 m/s (18 km/h) y se repiten cada 5 m. En cada punto se determina la deformada del pavimento sobre una longitud de 4 m. De éstos, 3 m corresponden a la parte posterior del camión, por detrás del eje trasero, donde no hay influencia de la rueda delantera. A partir de las señales proporcionadas por los sensores (geófonos) se dispone, cada 5 m, del cuenco completo de deflexiones definido por 100 puntos.

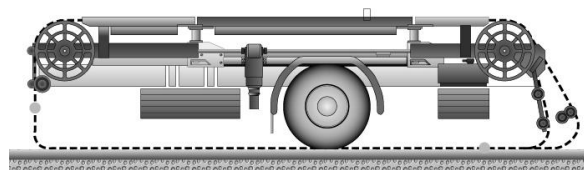


Figura 2: Esquema de detalle del sistema de medida

El elemento mecánico principal del sistema de medida (Figura 2) está formado por una cadena en forma de oruga que gira a una velocidad sincronizada con el vehículo. Sobre esta cadena, que se coloca entre las ruedas gemelas derechas traseras, están instalados tres sensores de medida. La cadena tiene una longitud de 15 m, con una separación de 5 m entre sensores.



Figura 3: Vista general del Curviámetro y frontal con cámara de vídeo

Además de un sistema GPS y cámaras frontales para grabar el posicionamiento en la carretera (Figura 3), el equipo también lleva incorporados una sonda de temperatura y un termómetro de infrarrojos para la medida, en cada punto de ensayo, de la temperatura ambiente y de la temperatura de la superficie del pavimento respectivamente.

Equipos Láser Para La Medida De La Deflexión

Desde hace más de 25 años la medida de la deflexión sin contacto ha sido uno de los retos principales entre los fabricantes de equipos de deflexión. Actualmente hay dos tecnologías básicas sobre las que se está experimentando, pero parece que la del sistema danés TSD o Traffic Speed Deflectometer es la que más se está imponiendo. El TSD es un sistema basado en la medida sin contacto de la deflexión que utiliza varios láser de tipo Doppler que están instalados en una viga de referencia. El sistema se coloca sobre un remolque de un camión y se mide entre las ruedas traseras gemelas del semieje exterior. La carga utilizada en el eje de medida es usualmente de 10 t.

El equipo TSD está en la fase de pruebas para comprobar, entre otros, el efecto de la velocidad en la medida, la temperatura, el tipo de rodadura sobre la que se realiza la auscultación, la geometría de la carretera, etc., así como la repetibilidad y reproducibilidad (Ferne et al., 2013).

Por el momento parece que el objetivo no es llegar a poder utilizarlo a nivel de proyecto, sino ver si es posible que sirva para una primera evaluación a nivel de red, separando zonas que cumplan o no con unas determinadas exigencias estructurales y con una precisión determinada.

Para la red, en el largo plazo, quizás pueda llegar a ser posible la utilización del TSD para valorar el estado estructural real de los pavimentos, pero actualmente lo que se está intentando es que se pueda realizar esta valoración desarrollando una relación sencilla entre la pendiente de la deflexión en continuo que proporciona el TSD (no el cuenco completo de la deflexión en un determinado punto como el resto de sistemas presentados) y la deflexión obtenida con otro equipo. Esta metodología es la que se está aplicando en Reino Unido con el TSD y el Deflectógrafo Lacroix.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN UTILIZANDO SISTEMAS DE ALTO RENDIMIENTO PARA LA MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN

En base a la Acción Cost 325, 1997, la medida de la deflexión permite alcanzar distintos objetivos, como son la investigación de necesidades de rehabilitación de los parámetros, la obtención de módulos de rigidez de las diferentes capas del pavimento y el cálculo de la vida residual de los pavimentos. Asimismo persiguen la evaluación de la capacidad estructural, la identificación de zonas con peor comportamiento, el establecimiento de prioridades para la rehabilitación de carreteras, la auscultación de cada capa del pavimento durante la construcción, y

la planificación de la conservación y las nuevas investigaciones de nuevos materiales y mezclas asfálticas.

Si lo que se desea es auscultar una amplia red de carreteras y gestionarla en base a datos precisos, resulta conveniente determinar la deflexión con equipos que combinen la velocidad en la toma de datos con la posibilidad de registrar todo el cuenco de deflexiones para analizar el comportamiento del pavimento. Sin embargo, para aplicaciones de obra o de auscultación de una red de forma grosera, que ayuden posteriormente a definir zonas homogéneas y puntos críticos, entonces se pueden utilizar otros sistemas.

En la acción Cost 325, 1997, se establece que la información recogida del estado de la carretera o de la red constituye la mejor base para la estimación de las necesidades de conservación y permite priorizar entre las necesidades de mantenimiento teniendo en cuenta el estado de la red y posibilitando la distribución de los recursos asignados de una forma más efectiva. Disponer de información actualizada del estado del pavimento en base a la deflexión reduce significativamente los costes de rehabilitación.

A partir de las deflexiones puntuales registradas con el curvímetro, el análisis de datos pasa en primer término por la obtención de zonas con comportamiento homogéneo bajo la aplicación de una carga determinada. Además, hay que tener en cuenta que estas zonas estarán también asociadas a las secciones de pavimento existentes, al tráfico, a las características geometrías de la vía, al drenaje, etc.

Posteriormente se calcula una deflexión representativa de cada sección con comportamiento uniforme, correspondiente a un nivel de confianza determinado, partiendo de la hipótesis de que las deflexiones puntuales de cada zona homogénea pertenecen a una población con distribución normal.

Dado el volumen de información que se registra en la auscultación de una red de carreteras, y aprovechando que se encuentra automatizada tanto la toma de las medidas como el tratamiento de los datos registrados, se han desarrollado herramientas informáticas para la visualización y explotación de los datos auscultados por los equipos de alto rendimiento.

Evaluación De Los Resultados Obtenidos

A la hora de analizar las deflexiones auscultadas, existen diferentes métodos de interpretación con el fin de determinar el estado en el que se encuentran los pavimentos de una red y cuáles serían las actuaciones de rehabilitación oportunas en cada caso.

Algunas normas de rehabilitación están basadas en el análisis de las deflexiones máximas, tanto las puntuales como las representativas de los tramos homogéneos, como es el caso de la Norma española 6.3-IC de rehabilitación de pavimentos, 2003. En la misma se recoge el espesor mínimo de recrecimiento con mezclas bituminosas que resulta oportuno en cada tramo, siendo función de la deflexión representativa del tramo, así como del tráfico y del tipo de sección de pavimento. A modo de ejemplo, en la Fig. 5 se adjunta la tabla de espesores mínimos de recrecimiento necesarios para pavimentos flexibles y semiflexibles.

DEFLEXIÓN DE CÁLCULO (10 ⁻² mm)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2	T3	T4
0 - 40	10 ZONA DE ACTUACIÓN PREVENTIVA					
40 - 60	12	10	8			
60 - 80	15	12	10	8		
80 - 100	18	15	12	10	5	
100 - 125		18	15	12	8	5
125 - 150			18	15	10	6
150 - 200				18	12	8
> 200	ZONA DE ESTUDIO ESPECIAL					

Figura 5: Espesores mínimos de recrecimiento. Pavimentos flexibles y semiflexibles (6.3-IC, 2003)

Otras normas y recomendaciones que se utilizan en otros países Ibero-latinoamericanos, como es el caso de la Guía de diseño de pavimentos de la AASHTO o normas equivalentes, utilizan las deflexiones auscultadas en el pavimento para determinar, junto con el resto de parámetros necesarios, el módulo resiliente del cimiento, y poder evaluar el estado estructural del pavimento actual y sus necesidades de rehabilitación.

También existen métodos basados en el dimensionamiento analítico, en los que, a partir del cuenco de deflexiones y de la información sobre la estructura del pavimento, mediante cálculo inverso se definen los módulos característicos de los materiales constituyentes. Con esta información se modeliza el pavimento y se analiza el estado de tensiones y deformaciones en cada una de las capas, simulando el efecto que produce la acción de una carga vertical en superficie uniformemente repartida. A partir del estado de tensiones y deformaciones obtenido en el modelo de respuesta, se estudia la vida residual del pavimento mediante las leyes de fatiga de los materiales, lo que permite diseñar las soluciones de rehabilitación oportunas.

En general, los programas de cálculo inverso están diseñados para la evaluación de las deflexiones registradas con deflectómetro de impacto. No obstante, también se dispone en el mercado de programas de cálculo inverso y estimación de vida residual de pavimentos específicamente diseñados para las deflexiones auscultadas con curviómetro, como es el caso del programa DimMet desarrollado por el BRRC (Maeck, 2009). Además, cabe indicar que la aplicación de coeficientes de correlación entre las deflexiones registradas con los distintos equipos de medida a diferentes distancias del punto de aplicación de la carga, permiten la normalización de las deflexiones y su utilización en los distintos programas de cálculo inverso, independientemente del equipo de medida utilizado.

Por su parte, cabe indicar la existencia de numerosos estudios complementarios con la intención de relacionar las medidas obtenidas directamente por el curviómetro con los parámetros característicos del pavimento. Entre ellos destaca la relación obtenida por Gorski, 2005, entre la deflexión registrada con el curviómetro cuando la carga se encuentra a 900 mm del sensor de medida y el módulo representativo del cimiento del pavimento, así como otros estudios acerca de la interpretación del producto del radio de curvatura y de la deflexión máxima del curviómetro, o de la relación entre el radio de curvatura del curviómetro y la adherencia entre capas, estableciéndose una división en clases (Kobisch, 2008, y Chea, 2006).

NORMATIVA DE APLICACIÓN – ENSAYOS COMPARATIVOS

La medida de la deflexión obtenida con cualquier equipo debe poder ser comparada con las realizadas por el resto de sistemas de medida. Como se ha mostrado en la Tabla 1, todos los sistemas, salvo por el momento los deflectómetros experimentales láser, están ya normalizados a nivel nacional o internacional. Existen diversos ensayos de correlación entre los diferentes sistemas de medida de la deflexión, siendo uno de los más completos el recogido en la Acción Cost 324, 1997, con la participación de numerosos países.

No obstante, a este respecto, cada país suele realizar sus propios ensayos de correlación y adoptar los coeficientes de conversión obtenidos en sus propias carreteras. Cabe indicar que en España se realizan anualmente ensayos de intercomparación de equipos de auscultación, entre ellos, los equipos de medida de la deflexión, con la intención de garantizar la equivalencia de las medidas registradas con los diferentes equipos.

También destacan los ensayos de normalización de medidas de la deflexión con curviómetro y deflectómetro de impacto realizados por el BRRC dentro del proyecto “Performance Analysis of Road Infrastructure” (PARIS), 1998, en los que se establecen correlaciones entre las deflexiones a distintas distancias del punto de aplicación de la carga.

Por otro lado, y aunque no es objeto de esta comunicación, indicar que las deflexiones auscultadas dependen de las condiciones de medida, es decir, varían en función de la temperatura de las mezclas bituminosas y de la humedad del cimiento durante el registro de datos. Por ello, a la hora de interpretar los resultados, resulta conveniente aplicar unos coeficientes de ajuste a las deflexiones auscultadas.

En México para la validación del sistema curviómetro, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) realizó mediciones en diferentes tramos de longitud 2000 m con distintos niveles de deflexión promedio y comparando a la vez con varios deflectómetros de impacto. En el ensayo se comprobó la alta repetibilidad del curviómetro y se demostró, según indica el IMT, que las relaciones encontradas entre los deflectómetros y el curviómetro presentaban una bajísima dispersión, y que la correlación entre ellos era la unidad siempre que con el deflectómetro se aplique una presión de 700 KPa y el eje trasero del curviómetro aplique una carga de 13 t.

En Brasil en el año 2011 también se realizó un exhaustivo ensayo de intercomparación en la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo entre el curviómetro y la viga Benkelman, comprobando no solamente la buena correlación en la deflexión máxima sino también en el radio de curvatura de los cuencos que obtienen ambos equipos así como en las áreas de los cuencos de deflexión. Actualmente está pendiente el análisis de los resultados de otros ensayos de comparación realizados a principios de 2013 en la Universidad de Río de Janeiro, en los que se ha comparado el curviómetro con los equipos deflectómetro de impacto y viga Benkelman simultáneamente.

CONCLUSIONES

La medida del cuenco de deflexiones que se produce en el pavimento al paso de una carga determinada con un equipo de alto rendimiento proporciona de forma continua la característica

fundamental para determinar su capacidad de soporte al tráfico, especialmente de vehículos pesados. El equipo que puede ser utilizado en la gestión de una red de carreteras, a nivel de proyecto para la toma de decisiones técnicas en el diseño de las rehabilitaciones y en el control de la construcción, evaluando la capacidad de soporte de las capas construidas con el objeto de realizar la recepción de las unidades terminadas, es el curviámetro. El curviámetro se utiliza con regularidad desde hace bastantes años en diferentes países europeos, como es el caso de España, Francia, Portugal, Alemania o Polonia. Además, en los últimos años la proyección internacional del curviámetro ha hecho que su uso se extienda a otros países, tanto europeos (por ejemplo, Irlanda o Suiza) como americanos, tal es el caso de México y Brasil. En el documento se mencionan algunos ensayos de correlación entre los diferentes sistemas de medida de la deflexión, ya que el objetivo es que la deflexión obtenida con cualquier equipo pueda ser comparada con las realizadas por el resto de sistemas de medida. Asimismo, cabe indicar la existencia de numerosos estudios que relacionan las medidas obtenidas directamente por el curviámetro con los parámetros característicos del pavimento y su vida residual.

REFERENCIAS

- Belgian Road Research Centre – BRRC (1998): Normalisation of deflection measurements. Technical Memorandum T2 of the PARIS project. Brussels: BRRC.
- Chea, S. et Martínez, J. (2006): Détection des défauts d'interfaces entre couches de chaussées à l'aide de la deflexión de surface. 24 Rencontres Universitaires de Génie Civil, June, La Grande.
- European Commission (1997): Cost 324. Long-term performance of road pavements. Final report. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission (1997): Cost 325. New pavement monitoring equipment and methods. Final report. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Ferne, B.W., Langdale P., Wright M.A. (2013). Developing and implementing traffic-speed network level structural condition pavement surveys. Ninth International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields. Trondheim, Noruega.
- Gorski, M. (2005): Détermination de modules de couches recyclées a froid. XX Congrès belge de la Route, Belgium.
- Kobisch, R. (2008): Guide CFTR diagnostic et conception des renforcements de chaussées. LCPC Séminaire “Durabilité structurelle des chaussées: pathologies et entretien”, Septembre, Nantes, France.
- Maeck, J. (2009): Dimensionering van wegen met behulp van de software DimMET. XXI Congrès belge de la Route, Septembre, Gand, Belgium.
- Ministerio De Fomento. Dirección General De Carreteras (2003): Rehabilitación de Firmes. Instrucción de carreteras. Norma 6.3-IC. Madrid: Dirección General de Carreteras. Centro de publicaciones.