

# PATOLOGÍAS DE LOS PAVIMENTOS.

## ENTREGA 10.

Andrés Costa

Miembro Comité Revista Asfalto y Pavimentación

### 6. ANALISIS GENERAL DE LAS ACTUACIONES PREVENTIVAS

El objetivo fundamental de cualquier superficie pavimentada (carreteras, pistas de aeropuertos, estacionamientos, etc.) es servir a los ciudadanos para su movilidad, facilitar la accesibilidad de todo el territorio y actuar como soporte de la actividad económica en cuanto al transporte de personas y mercancías.

Desde el momento de su construcción, las propiedades estructurales y funcionales iniciales se van deteriorando por la acción, fundamentalmente, del tráfico y de las condiciones climatológicas, esto obliga a realizar, de manera continuada, las denominadas operaciones de explotación (asegurar la viabilidad de la misma) y de conservación (mantenimiento de las características de la vía y de su valor patrimonial).

Sobre los criterios para las actuaciones de conservación existen diversas teorías, pero parece evidente que para mantener las características de la carretera y asegurar una circulación cómoda y segura de los usuarios, la denominada conservación preventiva es la más adecuada y de menor coste a largo plazo.

Existen numerosos estudios sobre la evolución del deterioro en un pavimento con el tiempo. El gráfico adjunto representa esta evolución de manera muy próxima a la realidad.

Se estima que el 40% del deterioro se alcanza al 75% de la vida útil y a partir de aquí es muy progresivo y requiere, en general, para recuperar el estado inicial, una inversión muy elevada, en algunos casos próxima a la de nueva construcción.

Desde el punto de vista del firme y del pavimento (capa superior del firme o de rodadura), por su importancia en la comodidad y seguridad de los usuarios, las actuaciones, en general, se dirigen a mantener sus propiedades funcionales

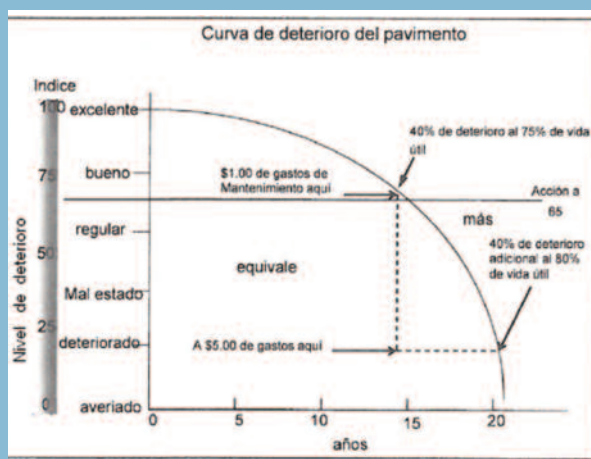


Figura 126. Curva del deterioro del pavimento

(características superficiales) y sus propiedades estructurales.

Dentro de las **propiedades funcionales** se incluyen las siguientes:

- **Resistencia al deslizamiento.** Influye en la seguridad de los usuarios.
- **Regularidad superficial,** tanto más exigente cuanto mayor sea la intensidad de tráfico y la velocidad de los vehículos. Influye en la comodidad y, por tanto en la seguridad, e influye en el deterioro de los vehículos y del firme.
- **Impermeabilidad de la capa de rodadura o de la inmediatamente por debajo de ella,** si aquella presenta una cierta porosidad (mezclas drenantes tipo PA o discontinuas tipo BBTM B).

Dentro de las **propiedades estructurales** se deberá tratar de mantener la resistencia estructural suficiente para soportar, sin deterioro y deformación, el tipo de tráfico pesado que tenga la carretera. En caso contrario se producirá un deterioro considerable de la misma, con rotura del firme, deformaciones, pérdida de impermeabilidad por grietas, etc. Es decir aparecen algunas de las patologías que se han descrito anteriormente y que, en todos los casos, influyen de manera más o menos eficaz en la seguridad vial.

Cuando se llegan a perder, total o en gran parte, las propiedades estructurales, se hace necesaria la reconstrucción de una gran parte del firme, con un coste muy elevado.

La vida útil del firme es un concepto que se maneja en el diseño del mismo, estableciendo un periodo de tiempo durante el cual se considera que el firme va a mantener sus propiedades dentro de unos valores aceptables y sin influir de manera sustancial en la comodidad y seguridad de los usuarios. Pero este concepto de VIDA UTIL puede superarse de manera que podríamos considerar que un firme es perpetuo siempre que logremos mantener sus propiedades. Para ello es imprescindible desarrollar, a partir de la construcción de un firme nuevo, lo que se denomina **UN PLAN SISTEMÁTICO DE CONSERVACION DEL FIRME Y DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MISMO.**

Mediante la auscultación y la inspección visual de los firmes es posible conocer el estado de evolución de sus propiedades estructurales y funcionales. Fijando unos umbrales mínimos de los parámetros que caracterizan estas propiedades, deflexiones, resistencia al deslizamiento, textura, regularidad superficial, etc. y definiendo el tipo de actuación de conservación, necesaria para recuperar los valores óptimos de estos parámetros, es posible mantener, con una inversión periódica sensiblemente menor de la que es necesaria para reconstruir el firme agotado, las características iniciales del firme que lo hacían ser CÓMODO Y SEGURO para los usuarios.

Siguiendo este **PLAN SISTEMÁTICO DE CONSERVACION DEL FIRME Y DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MISMO** y teniendo en cuenta la capacidad de los materiales bituminosos de ser reciclados e incluso reutilizados, es posible hablar de firmes de larga duración (en algunos textos se utiliza el concepto de firmes perpetuos), consiguiendo alargar su vida útil de manera muy importante, con un coste total sensiblemente menor que el que supone la reconstrucción periódica del firme agotado.

## 7. ANEXO 1. AUSCULTACIÓN DE FIRMES CON EQUIPOS

### 7.1. Introducción

Para la inspección de las características estructurales y superficiales de los firmes se dispone actualmente en España de numerosos equipos con altas prestaciones que miden a la velocidad del tráfico.

Los resultados de las auscultaciones de dichos vehículos se utilizan, tanto en el control de las obras de carretera (analizando su calidad capa a capa y en la recepción definitiva de la obra), como para conocer el estado de los pavimentos de las redes de carreteras en servicio.

También sirven, actualmente, para objetivar el nivel de conservación que lleva a cabo un concesionario, convirtiendo los datos auscultados en indicadores, siguiendo lo indicado en los Pliegos correspondientes.

### 7.2. Equipos de auscultación

La siguiente tabla hace una relación de los equipos que se utilizan para la auscultación de carreteras en España, tanto de alto rendimiento como puntuales o estáticos:

Generalmente se utilizan aquellos sistemas de mayor velocidad en la toma de datos por seguridad vial, con objeto de interferir lo mínimo en el tráfico, y por economía, por lo que

serán los que se traten en este documento. Además los equipos de alto rendimiento suelen proporcionar un número de datos muy elevado, aumentando significativamente el grado de conocimiento y de confianza en los resultados.

#### 7.2.1 REGULARIDAD SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS

Las irregularidades superficiales de los pavimentos, tanto longitudinales como transversales, son, dentro de las propiedades superficiales de un pavimento, la que más percibe el usuario de la carretera, proporcionándole una sensación de mayor o menor comodidad.

Con el objeto de evaluar la regularidad superficial longitudinal en España se utiliza el Índice de Regularidad Internacional (I.R.I.). En el caso de la regularidad transversal los parámetros son la profundidad de rodera y los hundimientos.

La regularidad superficial se mide sistemáticamente:

1. Durante la construcción para controlar los métodos constructivos.
2. En la recepción de las obras.
3. Durante toda la vida de la carretera como uno de los parámetros esenciales en la gestión y programación de actuaciones de mantenimiento debido a la trazabilidad del ensayo.
4. En el análisis de patologías de pavimentos.

1.- Regularidad Superficial	LONGITUDINAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipos estáticos o semiestáticos tipo Dipstick</li> <li>Equipos dinámicos sin contacto tipo perfilómetro láser</li> </ul>
	TRANSVERSAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Topografía o reglas fijas</li> <li>Equipos dinámicos tipo perfilómetros láser puntuales o continuos.</li> </ul>
2.- Resistencia al Deslizamiento de los Pavimentos, Textura y Capacidad de Drenaje.	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zapatillas Deslizantes - Péndulo Inglés</li> <li>Sistemas Dinámicos de medida del coeficiente de resistencia al deslizamiento longitudinal tipo Griptester o Mu-Meter.</li> <li>Sistemas Dinámicos de medida del coeficiente de resistencia al deslizamiento transversal SCRIM</li> </ul>
	TRANSVERSAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Círculo de Arena-Texturómetros láseres puntuales.</li> <li>Texturómetros láser a alto rendimiento.</li> <li>Equipos 3D de textura.</li> </ul>
	CAPACIDAD DE DRENAJE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permeámetro LCS (medida puntual)</li> <li>Sistema de medida de la proyección de agua (SMPA)</li> </ul>
3.- Inspección de Degradaciones		<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspección Visual en Carretera por personal especializado</li> <li>Equipos de alto rendimiento con recogida automática de imágenes del pavimento y análisis (imagen matricial o lineal).</li> <li>Equipos con reconstrucción 3D de la fisuración.</li> </ul>
4.- Medida de la Capacidad Portante		<ul style="list-style-type: none"> <li>Viga Benkelman</li> <li>Deflectómetros de Impacto</li> <li>Deflectógrafos Lacroix</li> <li>Curviámetro</li> </ul>

### **REGULARIDAD LONGITUDINAL**

Los equipos más utilizados actualmente por su precisión, velocidad de medida y fácil manejo, ya que no provocan interrupciones de tráfico ni tienen la necesidad de mantener una velocidad constante durante la medida, son los sistemas perfilométricos basados en la tecnología láser.

Algunos perfilómetros láser son portátiles ya que cuentan con las correcciones debidas a los desplazamientos del vehículo sobre la propia caja del láser por lo que se pueden instalar en cualquier vehículo siendo intercambiables.

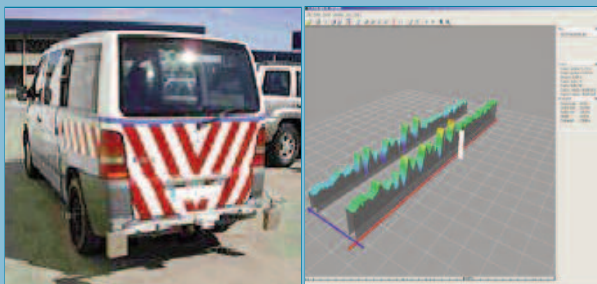


Figura 127.- Equipo portátil con 2 láseres (uno por rodada) y representación de los dos perfiles registrados.

Se utilizan para detectar fallos de regularidad superficial y facilitan perfiles “aplanados” del firme que posibilitan su análisis y corrección.

### **REGULARIDAD TRANSVERSAL - RODERAS**

La medida del perfil transversal se puede realizar con medios topográficos o con reglas estáticas colocadas transversalmente al carril, aunque ya se han implantado claramente los equipos de medida láser de alto rendimiento.

Actualmente hay dos métodos de medida del perfil transversal utilizando tecnología láser. El primer método consiste en registrar el perfil mediante suficientes láseres puntuales que miden la distancia entre su posición y el pavimento y que se colocan sobre una viga transversal instalada en un vehículo.

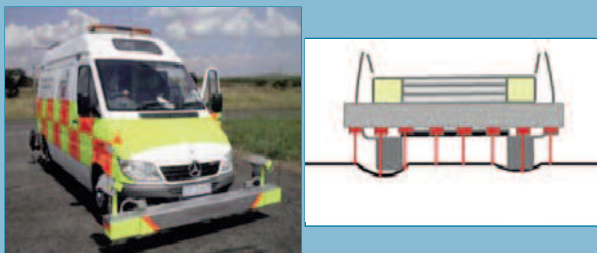


Figura 128.- Principio de medida del perfil transversal con láseres distanciométricos puntuales.

El segundo sistema mide con un solo haz y registra con

una cámara lineal, lo que permite medir un ancho de carril de 4 m con 1280 puntos de resolución, y con una precisión en la medida de la profundidad de la rodera de  $\pm 1$  mm y de  $\pm 3$  mm en el ancho.

Se utilizan para detectar roderas y/o hundimientos.

### **7.2.2 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS Y TEXTURA**

Como es bien conocido, la propiedad más importante que debe tener un pavimento en cuanto a la seguridad de la circulación vial es la resistencia al deslizamiento en condiciones atmosféricas desfavorables.

Las características de los pavimentos que influyen en la resistencia al deslizamiento son las pequeñas irregularidades superficiales correspondientes a las denominadas micro y macrotextura.

La medida del coeficiente de rozamiento **longitudinal** se realiza normalmente con una rueda que gira en un plano paralelo al de la marcha del vehículo y a la que se le impide el giro, empezando a deslizarse y midiéndose la fuerza que opone al movimiento. Un ejemplo de este tipo de equipos es el Grip Tester en el que la rueda está bloqueada impidiendo el movimiento en un 14,5 %.



Figura 129.- Equipo Grip-Tester para la medida del coeficiente de rozamiento longitudinal.

El coeficiente de rozamiento transversal se mide con equipos de rueda oblicua. En estos equipos el giro de la rueda es libre. El deslizamiento se provoca forzando a que la rueda mantenga un ángulo con la dirección de marcha del vehículo. El equipo de estas características que se utiliza en España es el SCRIM con rueda oblicua a 20°, equipo de origen británico muy implantado a nivel mundial. El coeficiente de rozamiento transversal medido con SCRIM es el índice que se utiliza



para recepcionar la rodadura en obras nuevas y en las actuaciones de rehabilitación. Asimismo es el equipo que se está empleando en la auscultación sistemática de redes en España y en Europa.

Se utilizan para detectar fallos de adherencia, motivados fundamentalmente por mezclas fabricadas con áridos que tienen valores bajos del CPA.



Figura 130.- Vehículo Scrim.

La determinación del perfil a nivel de macrotextura se realiza actualmente con equipos texturométricos láser, que han sustituido al ensayo de la mancha de arena. Los texturómetros láser pueden ser estacionarios o puntuales o bien realizar la medida a alta velocidad estando instalados sobre equipos móviles.

La medida de la macrotextura con láser generalmente acompaña a las medidas que se realizan con los equipos que miden el perfil longitudinal o equipos de tipo SCRIM que incorporan, normalmente, un texturómetro láser para combinar las medidas de textura y de fricción.



Figura 131.- Texturómetro láser montado sobre SCRIM.

Se utilizan para detectar zonas de textura baja que puedan causar problemas de hidroplaneo. Otra de las características que se evalúa es la capacidad de drenaje, con el fin de controlar la capacidad de drenabilidad de las capas de rodadura y programar adecuadamente las operaciones de limpieza cuando se produce la colmatación por polvo o suciedad, se procede periódicamente a la medida de la permeabilidad de estas capas con el permeámetro.

El permeámetro LCS tiene el inconveniente de que es un ensayo puntual y que para su ejecución es necesario cortar al tráfico la zona o el carril de medida, con las consiguientes molestias para el usuario y problemas de seguridad para el personal y equipo de medida. Actualmente se ha desarrollado por la UPC y EUROCONSULT, dentro de un proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana y el Ministerio de Educación y Formación Profesional, un equipo de alto rendimiento, que permite evaluar la drenabilidad del pavimento de forma continua y segura, con las mínimas molestias para los usuarios.

### 7.2.3 INSPECCION DE DEGRADACIONES

El tipo, la extensión y la gravedad de la fisuración de un firme es uno de los datos esenciales para su conservación y rehabilitación. Los datos de fisuración permiten caracterizar el estado del firme y diagnosticar cuál puede ser la causa del deterioro superficial.

La recogida de datos automática es el método más recomendado, ya que permite un óptimo aprovechamiento de la información y una menor influencia de la subjetividad humana.



Figura 132.- Equipo de medida de las características superficiales del pavimento

La dificultad en la inspección automática se centra actualmente en la gestión del alto volumen de imágenes de muy alta resolución que se generan y en el tratamiento de las imágenes para automatizar el procedimiento de identificación de fisuras.

En estos momentos también existen sistemas que permiten la obtención de imágenes 3D lo que facilita la detección y el análisis automático de los deterioros.



Figura 133.- Sistema de imágenes 3D del pavimento para la detección de deterioros.

Con la detección de las degradaciones se pueden analizar los diversos problemas que pueden ser causa de las mismas y estudiar las posibles soluciones de rehabilitación.

### 7.2.4 MEDIDA DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE LOS FIRMES

El concepto de capacidad estructural no está limitado exclusivamente al comportamiento global del firme de una carretera sino que también debe ser considerado durante la construcción, en cada una de las capas que componen el firme desde la explanada, e incluso desde su cimiento, hasta la capa de rodadura. Con ello se comprueba la capacidad estructural de cada capa, pudiendo realizarse a tiempo las correcciones adecuadas en caso necesario. La capacidad estructural del firme y de cada una de sus capas, se evalúa a partir de las deflexiones.

La capacidad estructural de una carretera no se puede medir directamente, pero puede calcularse a partir de la información que aportan las deflexiones y el cuenco de la deformación generado por la aplicación de una carga sobre el firme.

Para la auscultación de las deflexiones de los pavimen-

tos, el equipo de referencia a nivel mundial ha sido tradicionalmente la Viga Benkelman. Como es bien conocido, este sistema de auscultación permite registrar, con la ayuda de un medidor de deformación, la deflexión producida en un punto de la superficie por la acción de la carga equivalente de un eje lastrado de 13 toneladas sobre el pavimento. En España se utiliza el eje de 13 t.

El bajo rendimiento de la Viga Benkelman es un gran inconveniente, quedando su uso relegado a estudios de correlación.

Los métodos automáticos de medida de la deflexión realizan la medida, bien de la deflexión producida por la carga transmitida a través de las ruedas gemelas de un camión cargado con 13 t (como por ejemplo, el Deflectógrafo tipo Lacroix o el Curviámetro) o bien analizan la respuesta del firme, por medio de sensores de aceleración, velocidad o deformación, a un impacto provocado por la caída de una masa desde vehículos parados, como es el caso del Deflectómetro tipo Impacto o FWD (acrónimo en inglés).

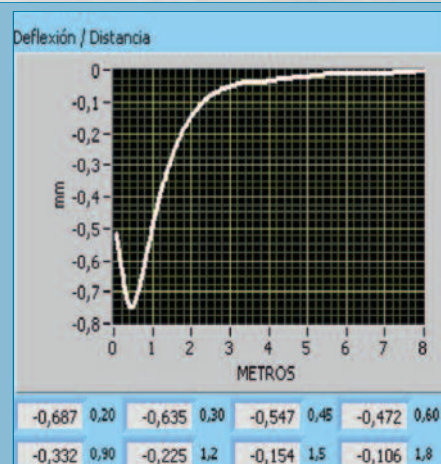
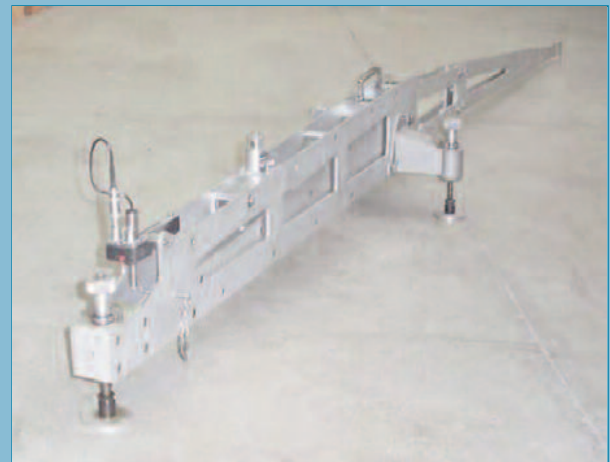


Figura 134.- Viga Benkelman y registro del cuenco de deformación.

Dentro de los distintos equipos de auscultación automáticos existentes se describen a continuación las características principales de éstos, ordenados de menor a mayor velocidad en la toma de datos:

- **Deflectómetro de Impacto. Equipo puntual**
- **Deflectógrafo Lacroix. Velocidad de medida 2 a 4 km/h**
- **Curviámetro MT. Velocidad de medida 18 km/h**

### **DEFLECTOMETRO DE IMPACTO**

El Deflectómetro de Impacto es un equipo de medida de la deflexión puntual, que realiza el ensayo situándose en cada punto elegido, con un sistema constituido por una masa que, al caer, provoca un impacto sobre un sistema de amortiguamiento elástico.

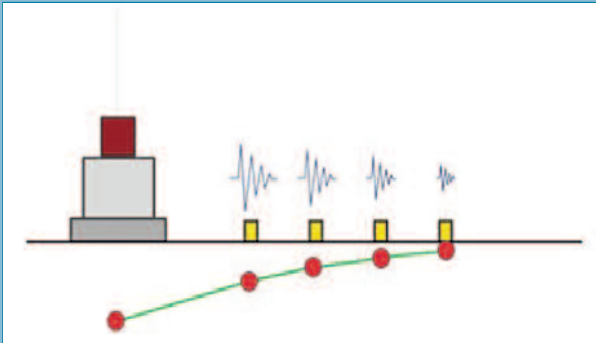


Figura 135.- Deflectómetros de impacto Kuab. Principio de medida.

### **DEFLECTÓGRAFO TIPO LACROIX**

Este equipo de auscultación está basado en la medida de la deflexión mediante Viga Benkelman. Consiste en una estructura similar a la Viga Benkelman con forma de T que se acopla entre los ejes de un camión cargado con 13 t.

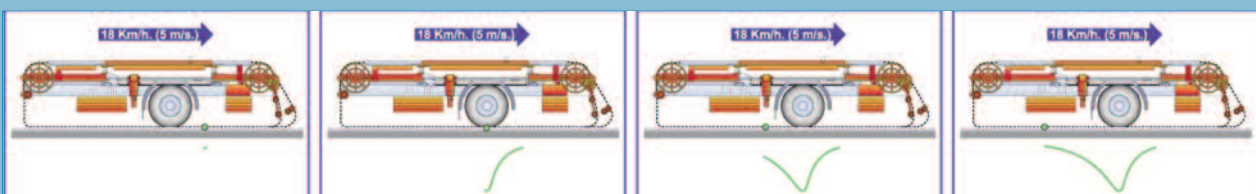


Figura 137.- Principio de medida de 15 m y registro cada 5 m del Curviámetro.



Figura 136.- Deflectógrafo Lacroix

La velocidad de medida de estos equipos está comprendida por lo general entre 2 y 4 km/h, pudiéndose llegar a 7 km/h en algunos modelos como el Deflectógrafo Flash, que realiza la toma de datos cada 10 metros en lugar de cada 5 como realizan el resto de los modelos.

### **CURVIAMETRO MT**

El equipo de medida se encuentra montado sobre un camión con distancia entre ejes de cinco metros, cuyo eje gemelo trasero está lastrado con una carga que se puede ajustar a voluntad hasta 13 t. En España se utiliza con la carga de 13 t.

La adquisición de datos se realiza a una velocidad de 5 m/s (18 km/h) y se realiza cada cinco metros. En cada punto se determina la deformada del firme sobre una longitud de cuatro metros con cien registros de muestreo. De éstos, tres metros corresponden a la parte posterior del camión, por detrás del eje trasero, donde no hay influencia de la rueda delantera.

La adquisición de datos se realiza a una velocidad de 5 m/s (18 km/h) y se realiza cada cinco metros. En cada punto se determina la deformada del firme sobre una longitud de cuatro metros con cien registros de muestreo. De éstos, tres metros corresponden a la parte posterior del camión, por detrás del eje trasero, donde no hay influencia de la rueda de-





Figura 138.- Vista lateral de la cadena del Curviámetro

lantera.

En amplias Redes de Carreteras el Curviámetro cumple el objetivo esencial de obtener las deflexiones máximas con mucha precisión a intervalos de 5 m y permite calcular las deflexiones características por zonas homogéneas de deflexión y obtener al mismo tiempo el cuenco completo de deformación es como otros índices asociados a la medida de la deflexión.

### 7.3. Indicadores de calidad

De la inspección sistemática con equipos de alto rendimiento se obtienen unos índices o parámetros (IRI, CRT, Profundidad de Roderas, Deflexión, etc.) que son los que mantienen vivos los sistemas de gestión y explotación de carreteras. A partir de la auscultación, con los equipos que se han descrito, se dispone de índices que pueden utilizarse directamente como indicadores del estado en que se encuentra.

La clasificación de los principales tipos de indicadores en la conservación de redes de carreteras a los que se hace referencia en la literatura, son:

#### 7.3.1 INDICADORES DE RED

Los que hacen referencia a la gestión de la propia red e incluiría por ejemplo aquellos que afectan a la seguridad (número de accidentes/año), movilidad (% de recorrido con obras) etc., así como las tareas de conservación del tipo reparaciones puntuales de barrera de protección y las propias del mantenimiento invernal.

#### 7.3.2 INDICADORES ESTRUCTURALES

Se trataría de aquellos que marcan en qué estado se encuentran determinadas características del inventario del patrimonio viario como los firmes, puentes, túneles, etc.

#### 7.3.3 INDICADORES FUNCIONALES

Este tipo de indicadores son los que valoran el nivel de servicio prestado y finalmente es la percepción que el usuario tiene de la red de carreteras que utiliza (tiempo de viaje, visibilidad de la señalización, información variable, etc.).

#### 7.3.4 INDICADORES DE ENTORNO

Los que valoran el impacto que producen las redes de carreteras en el entorno (ruido, contaminación del aire y del agua, etc.).

Los indicadores calculados a partir de los equipos de auscultación de alto rendimiento (regularidad, % de fisuras, deflexiones, visibilidad de las marcas viales, etc.) son objetivos y permiten utilizarlos como medida de la calidad del servicio prestado asegurando que se mantienen las condiciones de viabilidad, seguridad, comodidad, etc.

Algunos de los indicadores habitualmente empleados y que pueden ser medidos con equipos de alto rendimiento son los siguientes:

##### Para pavimentos

- Resistencia al deslizamiento.
- Macrotextura.
- Regularidad longitudinal
- Capacidad estructural
- Regularidad transversal.
- Fisuración.
- Limpieza de firmes Drenantes

##### Otros

- Retroreflexión de marcas viales.
- Señalización vertical.