

**COMISIÓN PERMANENTE DEL ASFALTO
XXXIV REUNIÓN DEL ASFALTO**

**Mar del Plata, Argentina
Noviembre, 2006**

Título:

**LA AUSCULTACIÓN DE PAVIMENTOS EN LA ARGENTINA.
SU EVOLUCIÓN Y ESTADO ACTUAL**

Autores:

Ing. Jorge TOSTICARELLI*, Ing. Marta PAGOLA*, Ing. Oscar GIOVANON*
Ing. Pablo MARTÍNEZ**, Ing. Gustavo MEZZELANI**, Ing. José MUZZULINI**

Entidad a la que pertenecen:

*IMAE: Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras,
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
Dirección: Riobamba y Berutti, Rosario, Argentina
Teléfono: 54 341 4808538 – Int.36
Sitio Web: www.fceia.unr.edu.ar

**ITYAC (Ing. Tosticarelli y Asociados Consultora)
Dirección: Riobamba 230 (2000) Rosario, Argentina
Teléfono / Fax: 54 341 4820531
e-mail: contacto@ityac.com.ar
Sitio Web: www.ityac.com.ar

Resumen:

La Auscultación de Pavimentos en Argentina se inició en la década de 1960 y tuvo una evolución similar y acompasada en el tiempo a lo que ocurrió a nivel mundial. Esto estuvo motivado, a nuestro criterio, por el excelente nivel técnico de la entidad rectora de la actividad vial en nuestro país, la Dirección Nacional de Vialidad y por el grado de actualización de sus profesionales de esa época, que viajaban y se nutrían de los principales adelantos tecnológicos de Europa y U.S.A. y los aplicaban en nuestro país.

Como en otros Países, en 1962, como consecuencia del AASHO Road Test, la Regla de Benkelman se usó de inmediato para evaluar los refuerzos y se introdujeron los criterios de Evaluación de Estado, con Índices Numéricos de categorización, tales como el PSI (Present Serviceability Index), determinado a partir de parámetros auscultados con equipos, en particular los Rugosímetros Dinámicos Integradores, tipo respuesta como los B.P.R.; B.I; Mays Ride Meter, etc.

La posterior creación dentro de Vialidad Nacional, del Grupo de Evaluación de Pavimentos, permitió el primer equipamiento (Deflectógrafos Lacroix, Rugosímetros BPR, Mumeter, etc) y encarar, a partir de 1980, el Monitoreo de los Parámetros Auscultados anualmente, lo que permitió, por su parte el análisis del

Comportamiento de los Pavimentos en Servicio y dejar establecida una Metodología de Auscultación y Evaluación de Pavimentos a nivel País.

A partir de 1990, con la concesión por peaje a Empresas Privadas del Mantenimiento y Refuerzo de la Red Nacional Pavimentada (aprox. 10.000 km), con contratos por estándares con Parámetros Auscultados; se obligó prácticamente a la actividad Concesionaria Privada (por cláusula de autocontrol) y al Estado concedente (por cláusulas de control y penalización), a equiparse y encarar campañas anuales de Auscultación de la Red Vial Concesionada.

En el presente trabajo se hace un balance y se describen los principales equipamientos para la auscultación de Pavimentos disponibles en la actualidad tanto en el Sector Privado como en el Estatal.

Para la Auscultación Deflectométrica, existen desde Reglas Benkelman Doble (desarrollo Argentino), a Deflectógrafos Lacroix y varios Deflectómetros de Impacto (F.W.D.)

Por su parte, para la Auscultación de Parámetros de Estado se cuenta con Rugosímetros Tipo Respuesta, Rugosímetros Inerciales, Rugosímetros Laser, Barras Transversales a Ultrasonido, a Rayos Infrarrojos y a sensores Laser, Equipos Multifunción MRM (Inglés), ARAN (Norteamericano) y ASTRA (Francés); Medidores de fricción: Péndulos de Fricción, Mu Meter, Grip Tester y Scrim; Radar de Penetración o Georradar, Penetrómetros Dinámicos de Cono, etc.

I- LA AUSCULTACIÓN DEFLECTOMÉTRICA

I.1- REGLA DE BENKELMAN

Respecto a la medición de los desplazamientos de superficie del pavimento bajo cargas comenzó mediante la aplicación de la Regla Benkelman, en los años sesenta, impulsada principalmente por su utilización y difusión como consecuencia del AASHO Road Test.

La incorporación de la Regla de Benkelman fue mediante el Método Canadiense que evalúa la recuperación elástica, instantánea mas la diferida, esta metodología fue normalizada posteriormente por Vialidad Nacional en la norma VNE 28 para una carga por eje de 8,6 toneladas, similar a la de Estados Unidos [1]. Estudios realizados en el IMAE en el año 1969 [2] pusieron énfasis sobre la necesidad de complementar el valor máximo de la deflexión con el radio de curvatura del cuenco de la deformada, dando origen al desarrollo de la Regla de Benkelman Doble.

La medición de la deformada tuvo como objetivo inicial su utilización como un indicador global de la estructura, utilidad que fue ampliándose hacia el diseño, a nivel mundial impulsada por el Asphalt Institute y a nivel local por Dr. Celestino Ruiz [3], esta línea de trabajo fue continuada por diferentes ingenieros viales entre ellos puede citarse a los Ingenieros F. Lilli y J. Lockhart [4].



Figura 1. Método dos Reglas Benkelman – Figura 2. Regla Benkelman Doble Imae

I.2- DEFLECTÓGRAFO LACROIX

Vialidad Nacional en el inicio de la década del ochenta puso en forma operativa un conjunto de Deflectógrafos Lacroix, que poseen la particularidad de ser de chasis largo, para reducir la influencia de las ruedas delanteras, y con una carga del eje de ensayo de 10,6 toneladas, que resulto mayorada respecto a la de 8,2 ton, pero minimizada respecto a la de 13 ton utilizada en Francia y otros países. Esto tuvo por objetivo obtener en forma global valores de deflexión del mismo orden de los valorados por la viga Benkelman a fin de potenciar la experiencia de los Ingenieros Argentinos con el uso de la Regla de Benkelman [5].

El Ensayo Lacroix mide así la deflexión de un pavimento bajo el paso de una carga en un ensayo cuasi – estático ó cuasi – dinámico, el ensayo se realiza a una velocidad de 3 Km./h bajo una carga normalizada en el eje trasero de 10,6 ton. Con un paso de medición de 6,00 metros midiendo la Deflexión y el Radio de Curvatura simultáneamente en ambas huellas.



Figura 3. Deflectógrafo Lacroix chasis largo Francés modelo 03



Figura 4. Trineo y palancas medición en posición calibración estática

En 100 metros de medición este equipo toma aproximadamente entre 16 y 17 mediciones de Deflexiones por huella con su correspondiente Radio de Curvatura; lo cual lo convierte en una herramienta fundamental para proyectar la rehabilitación de un Pavimento en Servicio y definir técnicas de bacheo superficial o profundo y delimitar sectores homogéneos. Dado el adecuado rendimiento de estos equipos fue posible la medición sistemática de un gran número de kilómetros de la red pavimentada

En la actualidad existen en Argentina cinco Deflectógrafos LACROIX en poder de la Vialidad Nacional y un sexto Deflectógrafo LACROIX perteneciente a la Vialidad Provincial de Córdoba.

I.3- DEFLECTÓGRAFO DE IMPACTO (FWD)

Con el objetivo de evaluar mas exhaustivamente un pavimento en condiciones de servicio y aplicar técnicas de retroajuste modular se diseñaron a nivel mundial los equipos de medición de los desplazamientos de la superficie por medio de un impacto amortiguado denominados genéricamente FWD (Falling Weight Deflectometer). Estos equipos ingresaron a la Argentina en los inicios de la década de los noventa mediante la firma KUAB Konsult and Utveckling AB de Suecia. Un convenio realizado posteriormente por el IMAE con esta firma, productora del FWD, promovió su uso, principalmente dentro de las Empresas Concesionarias, que a la fecha tenían la responsabilidad de Evaluar los Pavimentos y proyectar su rehabilitación y mantenimiento por un período de 12 años [6].

La figura 5 muestra el esquema de funcionamiento de la placa de carga dinámica y los sensores de deformación que permiten determinar el cuenco y la figura 6 muestra el último equipo incorporado en 2005 perteneciente a Vialidad Provincial de Santa Fe

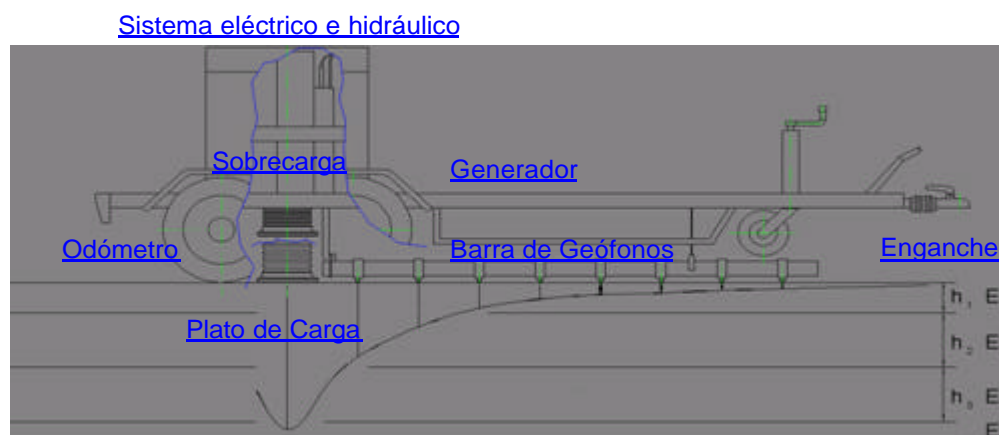


Figura 5. Esquema general de un Deflectómetro a Impacto

En la actualidad, en Argentina, su uso está difundido y continúa en expansión, existiendo los siguientes cinco deflectómetros tipo FWD:

- Deflectómetro a Impacto KUAB - Caminos de las Sierras
- Deflectómetro a Impacto KUAB - PEESA
- Deflectómetro a Impacto KUAB - Vialidad Nacional
- Deflectómetro a Impacto Dynatest de Siproma
- Deflectómetro a Impacto -Carl Bro Vialidad Santa Fe



Figura 6. .Deflectómetro a Impacto -Carl Bro Pri 2100 de Vialidad de Santa Fe



Figura 7. FWD Kuab - Camino Sierras

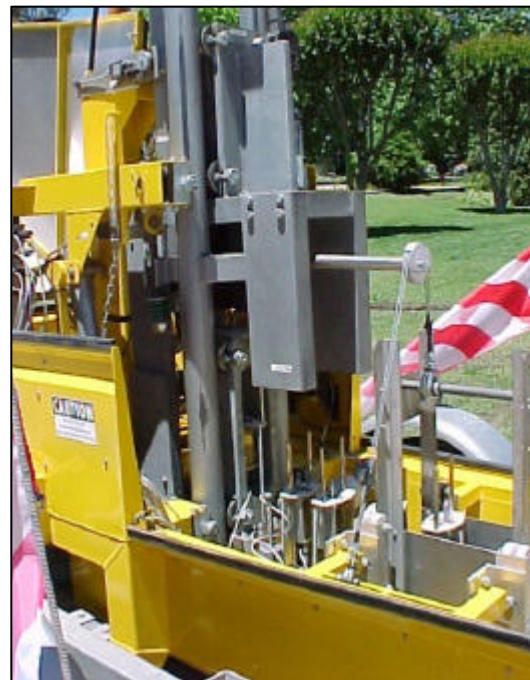


Figura 9. FWD - Kuab Sistema de cargas y sismómetros centrales



Figura 8. FWD Kuab – PEESA

II- PARÁMETRO RUGOSIDAD

Este parámetro está totalmente relacionado con la sensación que perciben los usuarios. Como definición podría decirse que es la valoración de las deformaciones verticales de la superficie del pavimento que afectan la seguridad y el confort de circulación de los usuarios.

En Argentina el tema se inició en los años 1980. Oportunidad de la puesta en servicio por parte de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) de tres rugosímetros tipo respuesta dinámica, BPR. (7) A partir de entonces la repartición comenzó a realizar la auscultación periódica anual de este parámetro en la red vial principal pavimentada, tarea que se realizó en forma continua por un período de aproximadamente 7 años. Actualmente la misma se sigue realizando pero no anual sino periódicamente o ante un requerimiento específico, entre ellos el control del parámetro Rugosidad incluido en los Pliegos de Obras nuevas o bajo mantenimiento contratado.



Figura 10. Rugosímetros BPR de la DNV y vehículos de remolque

Paralelamente el Laboratorio Vial del IMAE de la Universidad Nacional de Rosario, adquirió un sensor Mays meter y se diseñó un trailer para su instalación, dando origen a los Rugosímetros MAYS-JMF. En dicha oportunidad se construyeron dos equipos, siendo uno para el IMAE y otro para una empresa consultora. Desde entonces, el tema Rugosidad ha sido difundido en los congresos nacionales e internacionales, resaltándose la importancia de su medición y análisis para la evaluación de la calidad que la superficie de rodamiento brinda al usuario. (8)



Figura 11. Rugosímetros Mays-JMF de IMAE e ITYAC

Simultáneamente, tanto a nivel mundial como en Argentina, este parámetro pasó a ser un indicador de calidad exigible en los Pliegos de obras y de concesiones. Adquirió así mayor difusión y muchas Vialidades Provinciales fueron equipadas en el año 1996 con rugosímetros Romdas y reglas Merlin, con el objetivo de realizar mediciones periódicas y poder analizar el estado de deterioros de su red.

Hacia fines del mismo año 1996 se realizó en el IMAE una experiencia de armonización entre todos los equipos rugosímetros (tipo respuesta dinámica) incorporados por las 11 Provincias con aportes de un crédito del Banco Mundial, los que habían sido montados en muy diversos tipos de vehículos. (9)



Figura 12. Vehículos de las Vialidades Provinciales con rugosímetros BI – Rondas incorporados, durante la experiencia de armonización en el IMAE (1996)

Todos los equipos adquiridos hasta entonces fueron del tipo respuesta dinámica, o sea que la medición realizada es la respuesta que tiene el sistema dinámico del vehículo frente a las excitaciones del camino.

A fines de la década del 90 se incorporaron en la Argentina algunos modernos equipos inerciales de medición absoluta de la Rugosidad de los Pavimentos, ya ampliamente difundidos a nivel mundial, como uno de los parámetros individuales medibles, junto a otros dentro de equipos especiales por ello denominados “multifunción” (capaces de medir varios parámetros simultáneamente). (10)

A partir de la existencia de distintos tipos de equipamientos de medición de la Rugosidad surgió, a nivel Mundial, la necesidad de su compatibilización, ya que cada uno mide en su propia unidad y los resultados obtenidos por los distintos equipos no son iguales, aunque si correlacionables.

En 1982 el Banco Mundial organizó una experiencia de “armonización” de los Rugosímetros. En dicha oportunidad se definió el “IRI” (Índice de Rugosidad Internacional). Este índice representa un parámetro que puede ser medido por los distintos rugosímetros, o sea la acumulación de los desplazamientos verticales en un determinado tramo de camino, y que es calculado a través de una simulación

matemática que representa un equipo ideal normalizado circulando por una carretera digitalizada a una velocidad fijada. (11) (12)

A partir de entonces los resultados de todos los equipos pasan a ser expresados en términos IRI (m/Km). Las unidades propias de los equipos han dejado de tener valor, y todos los rugosímetros tienen que pasar por un proceso de calibración debidamente normalizado.

Para obtener el IRI de referencia de un tramo de camino su superficie tiene que ser digitalizada. Una forma aceptada como clase 1 por el Banco Mundial y las Normas ASTM es la nivelación óptica (con nivel y mira) detallada de la superficie. En Argentina la gran mayoría de los equipos existentes se han calibrado sobre tramos de camino con IRI de referencia calculados sobre perfiles digitalizados con nivelación óptica.

Recientemente (año 2006) el IMAE adquirió un moderno y simple dispositivo Romdas Z-250 (conocido genéricamente como Dipstick), que permite obtener fácilmente el perfil de referencia, que es igualmente aceptado como “clase 1” y que efectúa la nivelación por “pasos” de 25 cm por medio de un inclinómetro de precisión, proporcionando por medio de una computadora acoplada el valor del IRI en tiempo real.

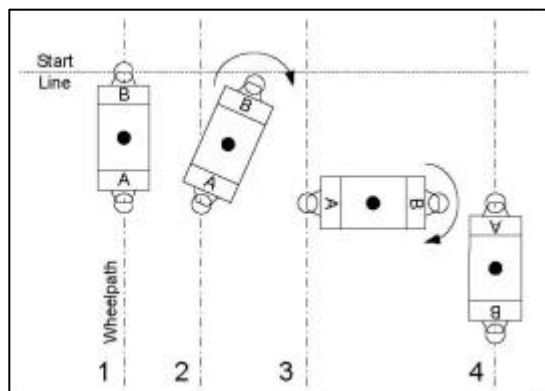


Figura 13. Equipo “Dipstick”, y forma de operación

Este simple dispositivo es una valiosa herramienta para conocer el IRI obtenido realmente al comienzo y durante una obra, y permite programar los ajustes necesarios para lograr el IRI requerido en los Pliegos de Especificaciones.

Los Pliegos de Especificaciones modernos fijan límites en IRI, tanto para recepción de obra como para el período de mantenimiento y al final de su vida de servicio. Para poder calcular el Índice de Estado (IE), desarrollado por la DNV en la década del 80 y que sigue aún en uso en Argentina, es necesario expresar la rugosidad en BPR.

La ecuación aceptada para la correlación IRI - BPR fue adoptada en 1999 en un Convenio entre el IMAE y la Cámara de Concesionarios Viales a partir de datos proporcionados por la DNV con mediciones realizadas con los equipos en tramos de ruta.

$$\text{IRI} = - 1.570 + 2.475 \times \text{BPR} - 0.164 \times \text{BPR}^2$$

$$\text{ó BPR} = 0.6921 + 0.4571 \times \text{IRI} + 2.95 \times 10^{-3} \times \text{IRI}^2 + 5.76 \times 10^{-4} \times \text{IRI}^4$$

Donde las mediciones IRI y BPR están expresadas en (m/km)

III- DEFORMACIÓN TRANSVERSAL

El perfil transversal del pavimento queda definido por las variaciones en altura relativa del mismo, en sentido ortogonal a la dirección del tránsito.

El grado de deformación del perfil transversal tiene una incidencia fundamental en las condiciones funcionales y estructurales de un pavimento existente. Estudios realizados en Europa lo definen como uno de los Indicadores de Comportamiento del pavimento de mayor importancia.

Desde el punto de vista de la Auscultación de Pavimentos, el perfil transversal se caracteriza por la profundidad de la deformación en la zona de rodadura, producida por la acción abrasiva de los neumáticos y/ó la deformación plástica causada por los vehículos pesados. A esta deformación se la denomina Ahuellamiento.

Además de reducir el confort de circulación, el Ahuellamiento puede atentar contra la seguridad y resultar peligroso, al interferir el control del vehículo y permitir el estancamiento de agua, aumentando el riesgo de hidroplaneo.

Medición de la deformación transversal

La técnica operativa tradicional para la determinación del Ahuellamiento es la "visual-manual-puntual", realizada por un operador provisto de una regla y una cuña graduada (Figura 14). Esta técnica ha sido la adoptada por la Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina, según lo establece en su publicación "Metodología de Evaluación de Estado de los Pavimentos".

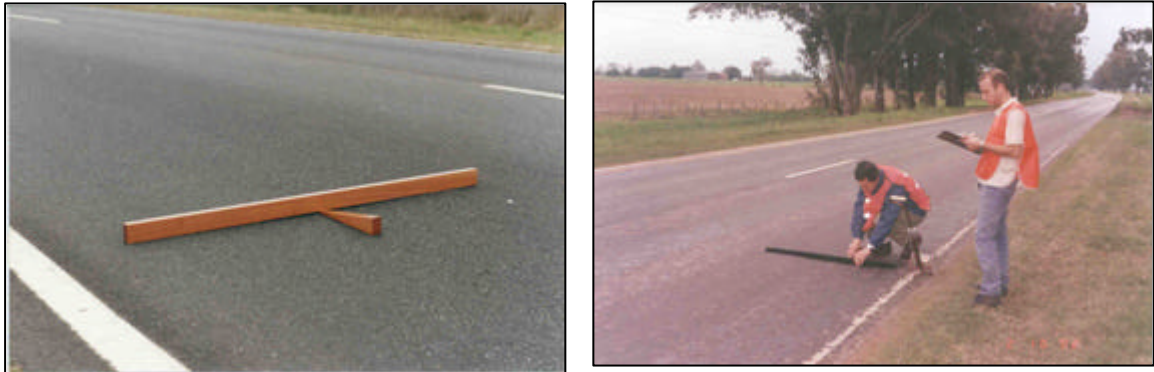


Figura 14. Medición de Ahuellamiento con regla y cuña

La longitud de la regla, en el caso de la metodología de la DNV, es de 1,20 metros. Esta “base de referencia” puede variar entre 1,20 y 2 metros de longitud, según los distintos países u organizaciones que utilizan este procedimiento.

Con esta técnica, en general las mediciones se efectúan en “secciones de evaluación” que constituyen una muestra del tramo total a evaluar, auscultándose en consecuencia entre un 1% y un 10 % de la longitud ó superficie total del tramo.

Desde principios de la década del '80 y hasta la fecha, la DNV y otros organismos viales de la Argentina, han realizado la evaluación del estado de sus redes mediante esta técnica. En general se determinan además, y simultáneamente, otros parámetros (rugosidad, fisuración y desprendimientos), con los cuales se llega a la determinación de un índice combinado denominado “Índice de Estado”.

Equipos de alto rendimiento

Estas técnicas manuales ya han sido reemplazadas, en muchos países del mundo, por el empleo de equipos de alto rendimiento operacional, posibilitando una mejora fundamental en cuanto a objetividad, precisión, rendimiento y seguridad en las determinaciones.

Existen equipos con diferentes tecnologías y principios de funcionamiento para la captura de datos del perfil transversal. Algunos utilizan sensores láser, otros emplean sensores infrarrojo ó ultrasonido, y los hay más sofisticados que combinan tecnología láser con sistemas de video.

En cuanto a la cantidad de sensores que disponen a lo largo del perfil transversal, también existe una variada gama de alternativas. Hay equipos que utilizan solamente de 3 sensores, uno en la huella externa, otro sobre la cresta de la entrehuella y el tercero sobre la huella externa del carril. Estos equipos determinan un “pseudo-ahuellamiento”, mediante la diferencia entre la lectura central y las

lecturas en las huellas. En el otro extremo, existen equipos que disponen de hasta 37 sensores, equiespaciados 10 centímetros entre sí, de manera tal que pueden cubrir la totalidad del ancho de un carril de circulación.

Es evidente que los primeros proporcionan información necesaria sólo para efectuar análisis globales a “nivel red” (planificación), mientras que los últimos permiten obtener el Ahuellamiento con un grado mucho mayor de precisión, posibilitando además un análisis de detalle a “nivel proyecto”.

Otra ventaja fundamental del empleo de estos equipos es la gran cantidad de perfiles por kilómetro que son capaces de obtener (paso de medición ó frecuencia de muestreo), permitiendo efectuar un mejor tratamiento estadístico de los datos obtenidos.

La mayoría de estos equipos disponen de un algoritmo que realiza el cálculo del Ahuellamiento, empleando diferentes longitudes de “base de referencia”.

Los equipos de alto rendimiento en la Argentina

Recién hacia la segunda mitad de la década del ´90 hacen su aparición en el medio vial argentino los primeros equipos de alto rendimiento para la medición de la deformación transversal (Ahuellamiento). Se trata de un equipo ARAN (Figura 15), perteneciente a la firma Siproma, y un perfilómetro KJ LAW (Figura 16), adquirido por la Concesionaria de la Red de Accesos a Córdoba, Caminos de las Sierras. El primero es un “equipo multifunción”, es decir que permite además la determinación simultánea de varios otros parámetros del camino (rugosidad, geometría, inventario vial, etc.); el segundo es un “perfilómetro inercial” que permite la medición simultánea de los perfiles longitudinal y transversal, posibilitando en consecuencia la determinación, al mismo tiempo, de la Rugosidad y del Ahuellamiento.



Figura 15. Equipo ARAN
(37 sensores ultrasonido)



Figura 16. Perfilómetro KJ Law
(9 sensores infrarrojo)

En el año 1999, la DNV incorpora una serie de moderno equipamiento para auscultación de pavimentos, entre los cuales se encuentra el ya citado equipo multifunción MRM (Multifunction Road Monitor). Para la medición del Ahuellamiento, el MRM dispone de 16 sensores láser ubicados en una “viga” ó “barra” frontal (Figura 17).

Finalmente, en el año 2001, la firma ITYAC (Ing. Tosticarelli y Asociados Consultora) adquirió una “barra multisensora” denominada Transversoperfilómetro a Ultrasonido, TUS (Figura 18). Este equipo, fabricado por el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) francés, permite efectuar en forma automática la medición del perfil transversal de un camino y la determinación de los defectos de la regularidad transversal de un pavimento, tal como el Ahuellamiento, desplazándose a una velocidad del orden de 50/60 km/h, inserto en el flujo normal del tránsito. El TUS está compuesto por 13 sensores ultrasónicos separados 20 centímetros entre sí, que permiten cubrir un ancho de 2,40 metros y miden simultáneamente la distancia entre el pavimento y la barra. Dispone además de un sensor de temperatura montado en el frente del vehículo, y un sensor de distancia asociado a una unidad electrónica que permite asignar una abscisa a los perfiles medidos. El paso entre mediciones es de aproximadamente 3,5 metros, con lo cual permite obtener cerca de 300 perfiles transversales por kilómetro de camino.



Figura 17. MRM
(16 sensores láser)



Figura 18. TUS
(13 sensores ultrasonido)

IV- INVENTARIO VIAL Y RELEVAMIENTO DE DETERIOROS SUPERFICIALES

La situación hasta la fecha

Los procedimientos empleados habitualmente en nuestro país, inclusive hasta la fecha, para la ejecución de Inventarios Viales y para el relevamiento de fallas ó deterioros superficiales, consisten básicamente en técnicas manuales, con alto grado de subjetividad y bajo rendimiento operativo. Otros posibles aspectos deficitarios de dichas técnicas tienen que ver con la representatividad, precisión y

seguridad de los datos obtenidos, todo lo cual redundará en la calidad de la información generada a partir de los mismos.

En la República Argentina, salvo algunos intentos que se han hecho con resultado incierto, la calificación y cuantificación de la Fisuración y los Desprendimientos se realiza mediante inspección visual de un operador entrenado. Se trata también de un método manual-puntual-visual, subjetivo, de bajo rendimiento y poco seguro para los evaluadores y para los usuarios del camino (Figura 19).



Figura 19. Inspección visual de deterioros

A nivel mundial, hacia 1992, se reconoció que las técnicas de monitoreo a alta velocidad estaban bastante avanzadas en lo referente a la medición de los perfiles longitudinal (Rugosidad) y transversal (Ahuellamiento). En cambio, la detección y evaluación del deterioro superficial (Fisuración y Desprendimientos), estaba llevándose a cabo con dispositivos de movimiento lento. Los métodos de toma de datos de deterioros superficiales fueron clasificados en: a) manual (estrictamente visual); b) captación de imágenes con procesamiento manual; y c) captación de imágenes con procesamiento automático. A la fecha, en los países más desarrollados coexisten ambos métodos de procesamiento de imágenes, los manuales y con procesamiento automático.

Las posibilidades actuales

Ya existe en nuestro país, la posibilidad de efectuar un Inventario Vial automatizado eficiente y un relevamiento de deterioros superficiales de los pavimentos más acorde a las necesidades que se plantean.

Se trata de reemplazar la inspección visual, tanto de los deterioros superficiales de los pavimentos como de los distintos elementos que componen una carretera (señalización horizontal y vertical, obras de arte, barandas de defensa, zona de cunetas, etc.), por métodos basados en la captación de imágenes desde un vehículo instrumentado para tal fin, para su post-procesamiento en la oficina mediante un paquete de software especialmente diseñado a tales efectos.

Las aplicaciones de un sistema basado en la captación de imágenes pueden ser, básicamente, las siguientes:

- Inventario físico de carreteras, mediante vistas generales de la zona de camino.
- Evaluación de deterioros superficiales tales como la Fisuración y los Desprendimientos, mediante imágenes orientadas hacia la superficie del pavimento.
- Auditorías de seguridad vial, mediante vistas generales de la zona de camino u orientadas a la detección y tratamiento de determinado problema específico vinculado a la seguridad vial.

Los equipos existentes en Argentina

Ya se han presentado en este trabajo, equipos multifunción que se encuentran en operación en nuestro país. Dichos equipos, además de la medición de los perfiles longitudinal y transversal, tienen la posibilidad de registrar imágenes del camino, para su posterior procesamiento con fines de inventario vial o clasificación y cuantificación de deterioros. Se trata de los equipos ARAN (Figura 20) y MRM (Figura 21). Cada uno de ellos presenta características específicas, en cuanto a la configuración y funcionalidades de su “sistema de captación y procesamiento de imágenes”.



Figura 20. Equipo ARAN



Figura 21. Equipo MRM

En el año 2004, la firma ITYAC (Ing. Tosticarelli y Asociados Consultora) adquirió un sistema multifunción denominado ASTRA, que se describe en otro trabajo presentado a este Congreso (Figura 22).

El Sistema ASTRA fue desarrollado por la firma francesa VECTRA, líder en auscultación y gestión de pavimentos. ASTRA es una versión actualizada y perfeccionada del Sistema DESY 2000, desarrollado y empleado por el L.C.P.C. (Laboratoire Central des Ponts et Chaussés) en la década pasada.



Figura 22. Sistema ASTRA

ASTRA es un equipo computarizado montado sobre un vehículo, especialmente diseñado para realizar Inventarios Viales y relevamiento de fisuras y deterioros superficiales. El sistema está dotado de teclados codificadores, cada uno de los cuales cuenta con 20 teclas configurables según la naturaleza de la información a recolectar (Figura 23). ASTRA posee 2 cámaras digitales del tipo “progressive-scan” de alta resolución, de la más reciente tecnología. La primera puede estar orientada hacia adelante de manera de registrar imágenes tipo “derecho de vía” o “right-of-way”, mientras que la segunda puede ubicarse apuntando hacia la superficie del pavimento o hacia los costados, según el objeto del levantamiento. El sistema dispone además de un localizador GPS diferencial de gran precisión, que permite georreferenciar las imágenes. En una sola pasada del equipo, se produce la captura de los distintos elementos del camino, su abscisa y los atributos que se prevé registrar.



Figura 23: Sistema ASTRA de a bordo: teclados, monitor, odómetro

V- PARÁMETRO ADHERENCIA NEUMÁTICO CALZADA

Este parámetro es una característica de la superficie de rodamiento que brinda al usuario la seguridad de poder circular en cualquier condición climática sin perder el control de su vehículo. Depende obligadamente de las características de las dos superficies puestas en juego: por un lado la superficie del pavimento y por otro la superficie del neumático que se “desliza”.

Como parámetros de la superficie del pavimento que se encuentran relacionados con la adherencia neumático calzada, y posibles de ser medidos experimentalmente se encuentran: la macrotextura y el coeficiente de fricción.

En Argentina se inició el tema con la compra de 2 equipos Mu Meter por parte de la Dirección Nacional de Vialidad, que estuvieron operacionales en la década del 90, y se incorporó su control en los Pliegos de Especificaciones Técnicas.

Esto fue una avanzada para nuestro país, ya que en Argentina siempre se tendió a construir carpetas de rodamiento utilizando, en general, mezclas asfálticas muy “cerradas” (de baja macrotextura) diseñadas fundamentalmente para resistir esfuerzos y deformaciones, y preservar la estructura de la entrada de agua.

Con el inicio de las Concesiones Viales en el año 1990 los parámetros asociados al usuario pasaron a tener más importancia, y comenzaron entonces a diseñarse carpetas especiales de mayor macrotextura, como micro concreto asfáltico, SMA y drenante, mezclas estas que requieren del uso de asfaltos modificados con polímeros.

La unidad de medición aceptada actualmente es el IFI (índice de fricción internacional), escala definida en 1992 en una experiencia de armonización de distintos equipos existentes organizada por la AIPCR.

Para medir el coeficiente de fricción existen en Argentina distintos equipamientos: dos Mu Meter y un Scrim en operación por la Dirección Nacional de Vialidad, un equipo Griptester en poder de una empresa privada, y varios Péndulos de Fricción en distintas organizaciones públicas y privadas. (13)

Para medir la macrotextura, se utiliza tradicionalmente el método del Círculo de Arena, y más modernamente mediante un sensor láser de alta frecuencia, uno de los cuales se encuentra incorporado al Scrim de la DNV.

Para realizar la medición del IFI los equipos Mu Meter y el equipo Griptester se encuentran correlacionados con macrotexturas obtenidas por medio del Círculo de Arena, y el equipo Scrim Tex con la medición del láser que tiene incorporado. (14)



Figura 24. Equipos Mu Meter y Griptester



Figura 25. Equipos Péndulo de Fricción y Círculo de Arena



Figura 26. Equipo Scrim Tex, vista general y detalle

En Argentina algunos Pliegos de Especificaciones Técnicas contemplan solo el parámetro coeficiente de fricción y otros ya tienen incorporado el control de la adherencia neumático calzada en unidades IFI. (15)

VI- ESPEORES POR MÉTODO NO DESTRUCTIVO

VI.1- RADAR DE PENETRACIÓN O GEORADAR

Uno de los equipos últimamente incorporados tanto a nivel mundial como en Argentina es el Radar de Penetración o Georadar con capacidad para auscultar los espesores de las distintas capas componentes de los pavimentos con técnica de “radar”, en forma continua no destructiva y con gran rendimiento operacional.

Como todo equipo de medición, requiere un operador entrenado para interpretar las imágenes obtenidas y se apoya en una calibración pavimento a pavimento contrastando las imágenes con probetas caladas a lo largo de la línea de medición.

Se trata de “antenas” emisoras – receptoras de distinta frecuencia según el tipo y espesores de los pavimentos a auscultar. Cuanto más grande es el contraste de rigideces entre una capa y la subyacente, más fácilmente interpretable es la imagen y mayor la precisión estadística de los resultados. Por ejemplo es más sencillo el caso de un pavimento rígido, con losa de hormigón sobre subbase de suelo cemento que el caso de un pavimento flexible con varias capas asfálticas de características similares.

Vialidad Nacional acaba de incorporar un equipamiento con dos antenas de distinta frecuencia que se suman a los equipos ya existentes para varios usos geotécnicos de la firma Área Geofísica.



Figura 27. Georadar midiendo con vehículo escolta



Figura 28. Procesamiento datos en gabinete



Figura 29. Equipo de la DNV con Antenas posicionadas sobre placa de calibración

VII- EQUIPOS MULTIFUNCIÓN

En la última década han bgrado un importante desarrollo a nivel mundial los equipos denominados Multifunción, que tienen la posibilidad de medir varios parámetros a la vez ante una sola pasada del equipo a velocidades compatibles con el desarrollo del tránsito normal en las rutas (60 a 80 km/h) lo que constituye una poderosa herramienta para la gestión de pavimentos a nivel red.

Este desarrollo ha sido posible gracias a importantes avances en los sensores (ultrasonido, infrarrojo, láser) en la electrónica, en la informática, la dgitalización de imágenes y los sistemas de procesamiento de datos.

A modo de ejemplo, pueden mencionarse los originados en tres países de gran desarrollo vial, USA, Inglaterra, Francia.



Figura 30. RAV (WDM – Inglaterra)



Figura 31. AMAC (Vectra – Francia)

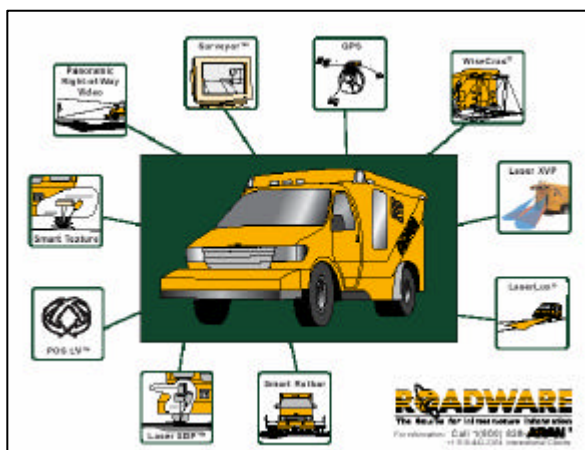


Figura 32. ARAN (Roadware – Canadá)

Como ya se ha mencionado en puntos anteriores, los equipos multifunción existentes y en operación en la República Argentina, son los siguientes;



Figura 33. ARAN (Siproma)




Figura 34. MRM (DNV)



Figura 35. ASTRA (Ityac)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] "Ensayo de deflexión recuperable y determinación de la curva retardada de pavimentos con regla Benkelman". Norma de Ensayo VN E28 Dirección Nacional de Vialidad. 1977
- [2] "Sobre la importancia del Radio de Curvatura en la medición de deflexiones Benkelman" J. Tosticarelli Publicación IMAE N° 50, 1969. y Revista Carreteras, años XVI, Nro. 57.
- [3] "Sobre el Cálculo de Espesores de Refuerzos de Pavimentos." .C. Ruiz. Libro de la XIII Reunión del Asfalto
- [4] "Diseño Racional de Refuerzo de Pavimentos Flexibles". F. Lilli y J. Lockhart. Libro de la XXIV Reunión del Asfalto.1986.
- [5] "Primeras experiencias de utilización de Deflectógrafos Lacroix en Argentina" A. Tagle, J. Tosticarelli, E. Petroni Primer Congreso Latinoamericano del Asfalto, Río de Janeiro, Brasil, noviembre de 1981. y Bulletin de Liaison des Laboratoires de Ponts et Chaussées n° 121 (setiembre - octubre de 1983).
- [6] "Aplicación de deflectógrafos a impacto (FWD) en Argentina." O. Giovanon y J. Tosticarelli. XXVIII Reunión del Asfalto, Buenos Aires, abril de 1995.
- [7] "Uso de rugosímetros tipo B.P.R. en las evaluaciones viales". Alejandro Tagle, Martín Bruck y Carlos Monticelli. Reunión de la Comisión Permanente del Asfalto, noviembre 1980.
- [8] "El Rugosímetro MAYS-JMF montado sobre trailer. Desarrollo y aplicaciones a evaluación de pavimentos". 2do Congreso Latinoamericano del Asfalto, Mar del Plata, Argentina, noviembre de 1983. Jorge Tosticarelli y Marta Pagola.
- [9] "Actualización de condiciones técnicas exigidas a las calzadas pavimentadas sobre: Rugosidad de Pavimentos". Revista de la Asociación Argentina de Carreteras, Año XLI , n° 149, octubre 1996. Hugo Poncino, Marta Pagola, Oscar Giovanon y Mario Noste.
- [10] "MRM (Multifunction Road Monitor) Control de operación del equipo – Primeras experiencias" XIV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Buenos Aires, septiembre 2005. Marta Pagola, Oscar Giovanon, Pablo Rodríguez, Diego Mazzitelli, Tulio Altamirano, Nicolás Gaffuri y Nicolás Mignoli.

- 
- [11] The international road roughness experiment. M.Sayers, Th.Guillespie and C.Queiroz. World Bank technical paper number 45, 1986.
 - [12] Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements. M.Sayers, Th.Guillespie and W.Paterson. World Bank technical paper number 46, 1986.
 - [13] "Encuentro de compatibilización Péndulos de Fricción". Revista de la Asociación Argentina de Carreteras, Año XLI , nº 149, octubre 1996. Marta Pagola y Oscar Giovanon.
 - [14] "La situación en Argentina respecto a la valoración de la adherencia neumático pavimento". Revista "El Asfalto", boletín de la Comisión Permanente del Asfalto, nº 95, segundo trimestre 2002. Marta Pagola.
 - [15] "Índice de Fricción Internacional IFI, Implementación en Argentina". Revista "El Asfalto", boletín de la Comisión Permanente del Asfalto, 2004. Marta Pagola.