

**XVII CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO**  
**Rosario, Argentina**  
**Octubre, 2016**

Título:

**LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS EN ARGENTINA.**  
**35 AÑOS DE EXPERIENCIA**

Autores: Ing. Gustavo MEZZELANI<sup>1</sup>, Ing. Jorge TOSTICARELLI<sup>2</sup>

Riobamba 230 (2000) Rosario, Argentina, 54 341 4820531,

<sup>1</sup> [g.mezzelani@ityac.com.ar](mailto:g.mezzelani@ityac.com.ar), <sup>2</sup> [j.tosticarelli@ityac.com.ar](mailto:j.tosticarelli@ityac.com.ar)

## **1. RESUMEN**

Desde inicios de la década del 80, la Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina comenzó a monitorear el estado de los pavimentos, mediante la aplicación de su “Metodología de Evaluación de Estado de los Pavimentos”, publicada luego de un importantísimo trabajo realizado, que se denominó “Estudio de Necesidades Viales”.

Esta metodología comenzó a aplicarse, primero paulatinamente y luego sistemáticamente, a la mayor parte de la Red Nacional, produciendo importantes resultados. En el año 1983 ya se evaluó la totalidad de la Red. Si bien ha tenido alguna pequeña adaptación con el transcurso de los años, dicha metodología es la que se encuentra actualmente en vigencia en la DNV.

Por su parte, el equipamiento empleado ha ido evolucionando con el avance de la tecnología y las nuevas tendencias mundiales.

En el presente trabajo, se resume la experiencia de 35 años de Evaluación de Pavimentos en Argentina, su evolución, su estado actual y los desafíos que se plantean para el futuro inmediato y de mediano plazo.

## **2. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo intenta ser un análisis a modo de balance, desde la óptica y vivencias de los autores, de 35 años de experiencia en la evaluación de pavimentos en la Argentina.

Se efectúa entonces una reseña histórica, iniciando hacia la década del 70, cuando se dieron los primeros pasos en materia de evaluación de pavimentos en el país.

Hacia inicios de los años 80 ya se encontraba vigente la su “Metodología de Evaluación de Estado de los Pavimentos” de la DNV y su uso y aplicación comienza a hacerse extensiva a toda la red vial pavimentada.

Paralelamente, en materia de equipamiento para realizar las tareas, se fueron realizando avances e incorporación de distintas tecnologías de acuerdo a las tendencias mundiales.

Se enumeran entonces los avances que fueron produciéndose para cada parámetro o indicador del estado del pavimento, década tras década, para llegar a la actualidad, realizándose un análisis de la situación actual, indicándose las nuevas posibilidades que se presentan y los desafíos que se plantean para el futuro inmediato y de mediano plazo.

## **3. RESEÑA HISTORICA**

### **3.1. DÉCADA DEL 70**

La metodología de evaluación de estado de los pavimentos que se encuentra actualmente en vigencia en la Dirección Nacional de Vialidad, tuvo su origen a fines de la década del '70, a raíz de trabajo realizado por la DNV, a través de la Dirección General de Planificación Vial, con la participación de Firms Consultoras, denominado “Estudio de Necesidades Viales”.

Dicho estudio, cuyo objetivo era desarrollar un sistema de programación de obras, contenía una importante fase inicial de evaluación de pavimentos. Si bien no estaba planteada como lo está actualmente, en ese contexto se produjo una primera versión de la “Metodología de Evaluación de Estado de los Pavimentos”.

En septiembre de 1980, el Grupo de Trabajo que actuó por parte de la DNV en el estudio (Tagle, Sanvitale, Rodríguez, Tang, y otros), presentó al Simposio sobre Evaluación y Refuerzo de Pavimentos, realizado en Tucumán, el trabajo “Estudio de Necesidades Viales” [1], en el cual se publicó por primera vez la “Metodología de Evaluación de Estado de los Pavimentos”.

Por su parte, en esta década se incorpora la materia “Evaluación de Pavimentos” en la Escuela de Graduados de la Universidad de Buenos Aires (UBA).

En cuanto al equipamiento, se incorporan en este período 3 Rugosímetros tipo BPR para medición de la Rugosidad o Regularidad Longitudinal, 2 equipos Mu Meter para valorar el coeficiente de fricción transversal y 5 Deflectógrafos Lacroix, fabricados por el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Francia, habiéndose acumulado una importantísima experiencia de trabajo con estos equipos, desde entonces hasta la fecha [2].



Figura 1: Rugosímetro BPR de la DNV



Figura 2: Mu Meter de la DNV. Coeficiente de fricción transversal



Figura 3: Primeras experiencias en el uso del deflectógrafo Lacroix en Argentina

A modo de síntesis, podemos decir que la década del 70 fue la de adquisición del conocimiento, de los primeros equipamientos y del inicio de su implementación.

### 3.2. DÉCADA DEL 80

Durante los años 1980 y 1981, como parte del “Estudio de Necesidades Viales”, se llevaron a cabo las primeras evaluaciones de estado aplicando la citada metodología.

En el año 1982, la DNV creó el Departamento de Estado, Evaluación y Seguridad de Caminos, en el cual se elaboró una nueva versión de la “Metodología de Evaluación de Estado de los Pavimentos” [3], sobre la base de la utilizada en el “Estudio de Necesidades Viales”.

Esta metodología comenzó a aplicarse, primero paulatinamente y luego sistemáticamente, a la mayor parte de la Red Nacional, produciendo importantes resultados. En el año 1983 ya se evaluó la totalidad de la Red. Si bien ha tenido alguna pequeña adaptación con el transcurso de los años, dicha metodología es la que se encuentra actualmente en vigencia en la DNV.

Desde entonces, y en función de la metodología planteada, se han efectuado en forma sistemática evaluaciones de los principales indicadores del estado funcional y estructural de los pavimentos.

La metodología de la DNV conduce a la determinación de un índice combinado, denominado Índice de Estado (IE), a partir de los cuatro parámetros siguientes, vinculados con el estado del pavimento:

- Deformación longitudinal (rugosidad)
- Deformación transversal (ahuellamiento / hundimiento)
- Fisuración
- Desprendimientos (baches / peladuras)

El IE combina estos cuatro tipos de fallas mediante la siguiente fórmula:

$$IE = 10 \times e^{-(a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 + a_3 \times D_3 + a_4 \times D_4)}$$

El coeficiente D1 está vinculado con la deformación longitudinal (Rugosidad), D2 con la deformación transversal (Ahuellamiento / Hundimiento), D3 con la Fisuración y D4 con los Desprendimientos (baches / peladuras).

Estos coeficientes (que adoptan valores comprendidos entre 0 y 10, correspondiendo los mayores valores a las situaciones más desfavorables) son los que se introducen en la fórmula combinada para calcular finalmente el IE.

El IE alcanza así valores comprendidos entre 1 y 10, correspondiendo los mayores valores a los mejores estados del pavimento. La fórmula mantiene su forma genérica pero varían los coeficientes  $a_i$  y  $D_i$  para los distintos tipos de superficie de rodamiento (concreto asfáltico, tratamiento bituminoso o losas de hormigón) y según el nivel de severidad o grado de la falla o deterioro.

Las tareas de campo se desdoblaban en dos etapas claramente diferenciadas, que habitualmente eran realizadas en forma separada y por medio de distintas comisiones de trabajo.

La Rugosidad se medía con equipos, que realizaban la determinación en forma continua, auscultando en consecuencia el 100% de la longitud del tramo a evaluar. A los fines del cálculo del Índice de Estado, se discretizaba la medición de rugosidad estableciendo un valor de Rugosidad Dinámica Acumulada para cada sección de 2 kilómetros de camino (ó para cada kilómetro de camino).

Los restantes parámetros (Ahuellamiento, Fisuración y Desprendimientos) eran relevados por un operador, en forma visual-manual, realizando determinaciones puntuales en

secciones de evaluación que constituirían una “muestra” del tramo a evaluar, auscultando un 1% del total del tramo, al establecerse una zona de evaluación de 20 metros de longitud cada 2 kilómetros de camino.

Podemos decir entonces que la década del 80 fue la de la implementación y la aplicación práctica.

### 3.3. DÉCADA DEL 90

Con la llegada del nuevo sistema de concesión por peaje en aproximadamente 9000 km de la red nacional pavimentada y otros corredores provinciales, tanto los parámetros de estado (Rugosidad, Ahuellamiento, Fisuración y Desprendimientos) como la adherencia neumático-pavimento fueron incorporados a penalización de contratos de mantenimiento. Lo mismo ocurrió con el Índice de Estado (IE).

Además de los equipos BPR empleados para medir rugosidad por parte de la DNV, se generaliza el uso de rugosímetros del tipo-respuesta dinámica (Bump Integrator), que son calibrados a parámetros internacionales (IRI) por correlación. Este tipo de equipos encuadra dentro la denominada Clase III según la Publicación Nro. 46 del Banco Mundial. [4]



Figura 4: Rugosímetros tipo-respuesta. IRI estimado por correlación (Clase III s/[4])



Figura 5: Rugosímetros tipo-respuesta. IRI estimado por correlación (Clase III s/[4])

En el año 1990, a través de un trabajo denominado “*Calibración de Rugosímetros según Patrones Internacionales*” [5], los Ings. Tosticarelli y Pagola mencionan la necesidad de calibrar los Rugosímetros Tipo-Respuesta respecto a patrones estables. El patrón de referencia que se ha establecido internacionalmente para estos fines es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Sin embargo, los Pliegos de Concesión, establecían exigencias de Rugosidad expresadas en términos BPR, y no IRI. Esto provocó la necesidad de efectuar un análisis histórico de correlación entre diferentes equipos BPR y el IRI [6], de manera que quedó establecida una curva IRI-BPR de referencia, tomando la referencia del año 1989 de los pliegos de especificaciones. A fines de 1995, en el marco de un Convenio celebrado entre la Cámara de Concesionarios Viales y el Laboratorio Vial del IMAE, los tres Rugosímetros BPR de la DNV fueron calibrados con respecto al IRI, siguiendo los lineamientos establecidos por el Banco Mundial y las Normas ASTM.

La adopción de la ecuación de referencia IRI-BPR año 89 de referencia, posibilitaba el uso de cualquier equipo Tipo-Respuesta en condiciones de ser calibrado a IRI por correlación, y luego obtener el BPR de referencia mencionado.

En cuanto a la forma de evaluar los restantes parámetros, Ahuellamiento, Fisuración y Desprendimientos, los mismos continuaron evaluándose de igual manera, en forma visual-manual-puntual, reduciendo en muchos casos el muestreo al 2% del total del tramo, al establecerse una zona de evaluación de 20 metros de longitud pero cada 1 kilómetro de camino.

Lo mismo ocurrió con el Coeficiente de Fricción, continuándose con mediciones efectuadas mediante equipo Mu Meter por parte de la DNV, siendo este parámetro la fricción en términos de Mu Meter la exigencia a los contratos de concesión. En el ámbito privado y universitario, se incorpora el Péndulo de Fricción del TRL inglés y comienzan a realizar mediciones, lo cual derivó en un encuentro de compatibilización de mediciones coordinado por el IMAE, UNR.

En cuanto a la capacidad estructural de los pavimentos, se continuó desde la DNV con las mediciones de deflexiones Lacroix, con fines de planificación y se incorporó en la actividad privada y a efectos de cálculo de mejoras y proyecto de refuerzos, el empleo de Deflectómetros de Impacto o FWD.

En el contexto de concesiones por peaje mencionados, los parámetros de estado y el IE comienzan a emplearse a Nivel Proyecto y cálculo de mejoras, a predicción de comportamiento y estimación de vida útil, a implementación del HDM III y IV.

Podemos decir entonces, que los años 90 fue la década de la aplicación masiva, intensiva y a veces indiscriminada de la metodología de evaluación.

### **3.4. DÉCADA DEL 2000**

La década del 2000 se vio marcada por la incorporación de diferentes equipamientos para evaluación de pavimentos, tanto desde la esfera pública como privada.

Así, la DNV incorpora algunos equipos de alto rendimiento para auscultación de pavimentos: Equipo Multifunción MRM, SCRIM-TEX para la adherencia neumático pavimento, FWD

(deflectómetro de impacto), ECODYN para la retrorreflectancia de la demarcación horizontal, radar de penetración para sondeos de la estructura del pavimento.



Figura 6: Equipo SCRIM para medición del coeficiente de fricción transversal y macrotextura mediante láser

Con respecto a la adherencia neumático-pavimento, en el año 1995, en una *Experiencia Internacional de Comparación y Armonización de las mediciones de Macrotextura y Resistencia al Deslizamiento* [7], organizada por la AIPCR (Asociación Mundial de Carreteras), con participación de 37 equipos diferentes, e intentando reproducir lo hecho con el experimento IRRE en Brasil de 1982 que derivó en el IRI, surge el IFI, Índice de Fricción Internacional.

Este nuevo índice IFI, es expresado como función del coeficiente de fricción y de la macrotextura. Entonces,

$$\text{IFI (F60, Sp)},$$

Donde F60 es función del coeficiente de fricción y la macrotextura y Sp es función solamente de la macrotextura.

En Argentina, se utilizaron mediciones de macrotextura y coeficiente de fricción con Péndulo de fricción y ensayo de círculo de arena (equipos participantes experiencia AIPCR) para calibrar el resto de los equipos de medición del coeficiente de fricción. [8]

La interpretación gráfica del IFI es la que se observa en la Figura 7, quedando delimitadas zonas o cuadrantes que grafican respecto al aspecto a subsanar para mejorar la adherencia neumático-calzada.

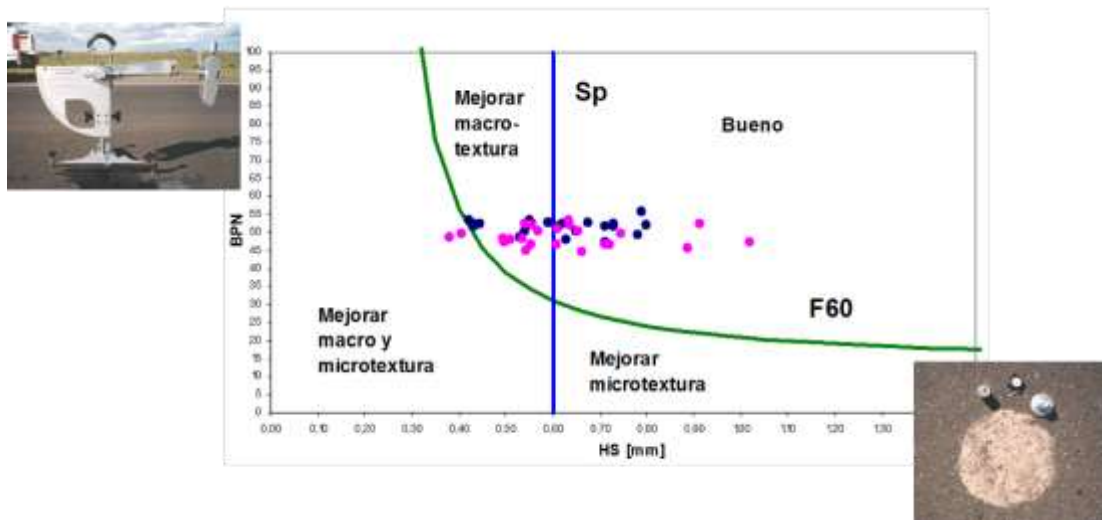


Figura 7: Interpretación gráfica del IFI

Hacia finales de los 2000, se incluyen en los pliegos de las obras en la red concesionada, exigencias expresadas en términos IFI, es decir de macrotextura y coeficiente de fricción en términos F60 y Sp.

En cuanto a otro parámetro de estado como es el Ahuellamiento, se incursionó en el uso de equipos de alto rendimiento, obteniendo mediante su empleo una elevada cantidad de información, tanto en lo referente al número de puntos por perfil como al número de perfiles por kilómetro y permitiendo operar inserto en el flujo normal del tránsito, reemplazando el relevamiento manual, altamente riesgoso y subjetivo.

En 2003, Tosticarelli, Mezzelani, Muzzolini y Martinez *presentan* “La Cuantificación de los parámetros fundamentales del perfil transversal del pavimento con equipos de alto rendimiento” [9], donde se resumen las experiencias prácticas en Argentina y otros países de la región con un equipo Transversoperfilómetro a Ultrasonido (TUS) [10], dotado de 13 sensores espaciados 20 cm entre sí.

Se presentan en dicha publicación dos posibles campos de aplicación de los resultados de la medición de perfiles transversales: a) auscultación o evaluación del estado del pavimento y la cuantificación de su parámetro característico: el Ahuellamiento, y b) cuantificación y diseño de acciones de rehabilitación o mantenimiento para dar solución a problemas ocasionados por deficiencias del perfil transversal, particularmente fresados, relleno de huellas o combinación de ambas técnicas, necesarias previas a un recapamiento.



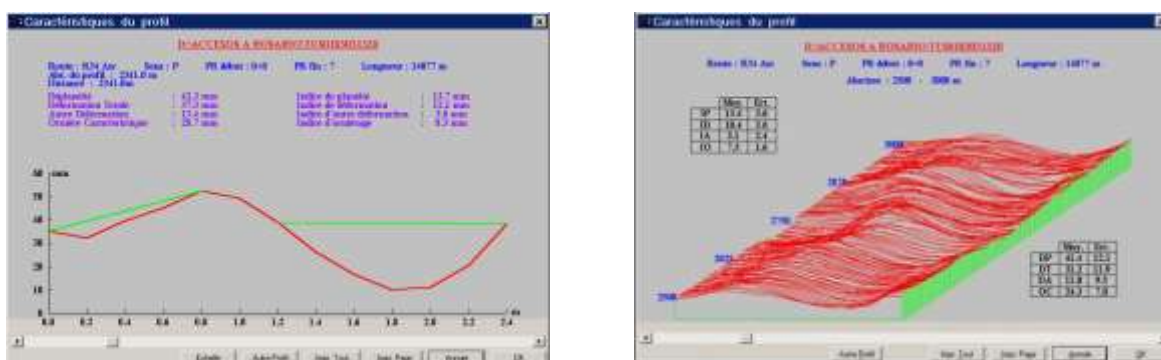


Figura 8: Procesamiento de Ahuellamiento con método de regla móvil de 1,20 m

En cuanto la Regularidad Longitudinal o Rugosidad, se comenzaron a realizar mediciones empleando equipos del tipo inercial, que trabajan bajo la norma ASTM E950 [11] y cuyo principio de funcionamiento es la medición directa del perfil mediante la distancia láser pavimento, mientras los movimientos del chasis del vehículo son compensados a través del uso del acelerómetro. La doble integración de la aceleración vertical permite obtener el desplazamiento del chasis creando una referencia absoluta.

En línea con toda esta modernización lograda en términos de equipamiento, en las especificaciones de los contratos de concesión 2003/2008, es mencionado por primera vez como una alternativa el empleo de equipos de alto rendimiento, y se reduce a un muestreo cada 200 metros, es decir 5 muestreos por Km; en algunos casos especiales como en la Red de Accesos a la ciudad de Buenos Aires se efectúa cada 100 metros (10 muestreos por Km).

### 3.5. DÉCADA DEL 2010

Ya a inicios de la década actual, los nuevos pliegos de concesiones recomiendan y priorizan el uso de equipos de alto rendimiento "...los equipos a ser empleados en las mediciones será preferentemente de alto rendimiento, entendiéndose por tal aquellos capaces de tomar una gran cantidad de muestras y que provoquen la mínima interferencia con el tránsito". El intervalo o paso para las determinaciones que se adopta es de 200 m, 5 por kilómetro.

Desde la DNV y otras vialidades provinciales continúa la incorporación de nuevo equipamiento, destacándose por parte de la primera la adquisición hacia 2011/12 de dos Perfilómetros Longitudinales Láser (Rugosímetros) de alto rendimiento, un Perfilómetro Transversal Láser (medidor de Ahuellamiento) de alto rendimiento y cinco Deflectógrafos Lacroix de última generación, reemplazando a los adquiridos en la década del 70 [12]

El *Perfilómetro Longitudinal Inercial Láser de alto rendimiento MLPL* permite efectuar la medición de la Regularidad Longitudinal (Rugosidad) en las dos huellas del carril medido, en cualquier tipo de superficie de pavimento, y a cualquier velocidad de medición entre 25 y 110 km/h. Los resultados que se obtienen son independientes de la velocidad, por lo que no es necesario mantener una velocidad constante como ocurre con los del tipo respuesta (BPR).

El MLPL basa su funcionamiento en el empleo un acelerómetro, dos sensores láser y un giróscopo. Los sensores láser miden las distancias equipo-pavimento, mientras el

acelerómetro y el giróscopo establecen el movimiento vertical del chasis del vehículo respecto a una referencia absoluta. Por diferencia entre ambos se obtiene el “perfil longitudinal filtrado”.

Estos equipos, a diferencia de los anteriores del tipo BPR, miden en forma directa el perfil longitudinal de la calzada, detectando todas las irregularidades de la misma que hacen al confort de circulación por parte del usuario. A ese perfil longitudinal se lo denomina perfil filtrado, ya que ha filtrado o eliminado los defectos de longitudes de onda que no inciden en el inconfort del usuario al circular. EL MLPL cubre un rango de longitudes de onda de las irregularidades desde 0,05 m a 50 m.

Obtenido el perfil longitudinal de cada huella, en post-tratamiento, se efectúa el cálculo del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) mediante el programa de simulación del pasaje de un vehículo tipo, denominado “cuarto de carro”, por sobre las irregularidades superficiales de la carretera.

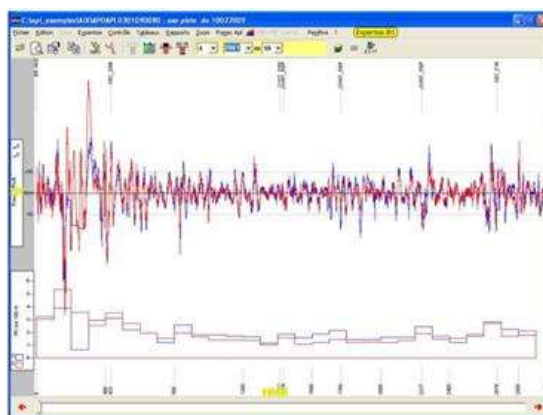


Figura 9: Perfil longitudinal medido en ambas huellas y gráfica del IRI asociada



Figura 10: Perfilómetro MLPL en medición en ruta

El MLPL encuadra dentro la denominada Clase I según la Publicación N° 46 del Banco Mundial, y la precisión de las mediciones cumplen los estándares de Clase 1 según la norma ASTM E 950 “Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference”. [10]

El *Perfilómetro Transversal Láser 3D LRMS* basa su funcionamiento en el empleo de dos emisores láser y dos cámaras de video de alto rendimiento.

Los emisores láser colocados en la parte inferior (ver Figura 11) inciden sobre el pavimento deformado con un determinado ángulo, provocando el registro de una línea continua en todo el ancho del carril (en color rojo, Figura 11). Simultáneamente, las dos cámaras matriciales ubicadas en la parte superior del dispositivo procesan dicho registro, determinando el perfil transversal del pavimento.

Cada par láser-cámara trabaja sobre la mitad del carril, existiendo una zona de solape en la parte central. De esta manera es posible cubrir la totalidad del ancho de un carril, hasta un máximo de 4 metros. El perfil transversal es registrado de esta manera con gran precisión y en forma prácticamente continua, dado que se registran o escanean un total de 1280 puntos por cada perfil transversal medido.



Figura 11: Perfilómetro Transversal Láser 3D de la DNV

El *Deflectógrafo Lacroix* permite efectuar la medición de la deformación vertical (deflexión) de la estructura del pavimento bajo una carga establecida (10,6 t en Argentina, 13 t en Francia), en forma continua. Este aparato permite evaluar el estado estructural o capacidad portante de la calzada.



Figura 12: 5 (cinco) Deflectógrafos Lacroix de la DNV

Cada uno de los 5 (cinco) Deflectógrafos Lacroix fueron montados en un camión Renault Premium 380, con una distancia entre ejes de 6,80 m (chasis super largo).



Figura 13: Deflectógrafo Lacroix de la DNV

Al mismo tiempo, y desde la actividad privada, comenzaron a emplearse equipos Multifunción para evaluar el estado superficial, como fue el caso del ASTRA, dotado de 2 cámaras digitales color de alta definición, teclados codificadores para inventario vial, perfilómetro longitudinal láser Clase I, texturómetro láser, DGPS y barra ultrasonido para el ahuellamiento.

Una descripción y resumen de las principales experiencias resultantes del uso de este equipo se describen en los artículos [13] y [14], de 2006 y 2010, respectivamente.

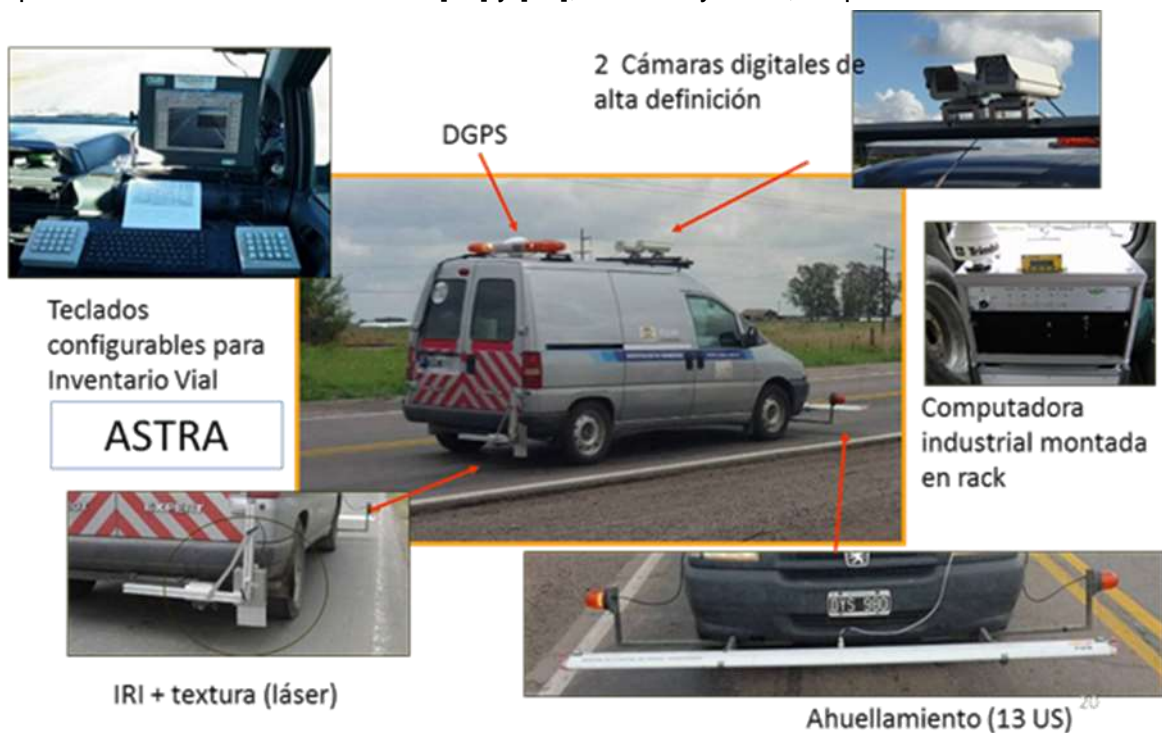


Figura 14: Equipo Multifunción ASTRA



Figura 15: Equipo Multifunción ASTRA (segunda versión)

Asimismo, en términos de adherencia, desde la actividad privada se comienzan a realizar mediciones con equipos más livianos y de fácil empleo, como es el caso del Grip Tester.

El Grip Tester mide la fricción basado en el principio de rueda parcialmente bloqueada "Fixed Slip". La rueda tiene un bloqueo en su sistema de giro del 15 % y se valora la fuerza que la misma realiza para girar a través de una celda de carga. Además, se mide en continuo la fuerza vertical sobre la rueda medidora para poder calcular luego el coeficiente de fricción como relación entre ambas fuerzas, de esta manera se minimizan los efectos perjudiciales que la rugosidad del camino tiene sobre las mediciones del coeficiente de fricción. Este equipo permite valorar el CFL, Coeficiente de Fricción Longitudinal.



Figura 16: Equipo Grip Tester. Coeficiente de Fricción Longitudinal

En términos de capacidad estructural, se generaliza el empleo de equipo FWD tanto en su versión liviano como pesada (SHWD) apta para uso en aeropuertos.



Figura 15: Equipo SHWD (Super Heavy Weight Deflectometer)

#### 4. LA ACTUALIDAD

Hoy se cuenta entonces, tanto desde la esfera pública como privada, de un nivel importante de equipamiento, que permite realizar los relevamientos con alto rendimiento operacional, mayor calidad y objetividad, de manera más segura tanto para operadores como usuarios del camino, y con información en continuo, es decir del 100% de la superficie del pavimento.

Esto es válido para el caso del coeficiente de fricción y la macrotextura, con equipos como el Scrim-Tex, Grip Tester y texturómetros láser, para la retrorreflectancia el Ecodyn, para deflexiones se cuenta con diversos equipos FWD y deflectógrafos Lacroix de moderna tecnología; para perfil longitudinal hoy se dispone de equipos inerciales láser de medición directa y para el perfil transversal, equipos tipo barras con sensores puntuales y más recientemente, equipos láser tipo scanner 3D.

No existen por el momento en la Argentina, equipos que permitan determinar el estado de fisuración y degradaciones con adecuada precisión y rendimiento operacional de manera de auscultar el 100 % de la superficie.

Es decir, hoy es posible evaluar el 100% de la superficie de dos de los parámetros del Índice de Estado IE (rugosidad y ahuellamiento) y restan los otros dos (fisuración y desprendimientos), los cuales se evalúan a pie o eventualmente con sistemas de imágenes, pero aún en un sector de 20 metros cada kilómetro, representando un muestreo del 2 % de la superficie total del pavimento.

Como cualquier lector podrá notar, hemos dejado de mencionar las metodologías, ya que las mismas prácticamente no se han modificado, no existiendo entonces a la fecha una evolución armónica equipamiento-metodologías.

Es decir, que la incorporación de nuevas tecnologías para la toma de datos no ha sido acompañada de adaptaciones o adecuaciones de la metodología de evaluación, en función de la mayor y más precisa cantidad de información recolectada. Este es un proceso que se debería transitar en la medida que se va modernizando la toma de datos, y posibilitando esto contar con una cantidad y calidad de información significativamente superior.

## 5. NUEVAS POSIBILIDADES DE APLICACION DE RESULTADOS

Los nuevos equipamientos ya disponibles brindan posibilidades adicionales de aprovechamiento en cuanto al uso de la información recolectada. Enunciaremos a continuación algunos ejemplos de ello.

### Rugosidad o Regularidad Longitudinal

Los nuevos equipos de registro del perfil longitudinal, tienen un potencial más amplio de utilización que la sola determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI), como ser su empleo para establecer y localizar zonas defectuosas según diferentes bandas de onda.

Por ejemplo, la metodología francesa [15] [16], determina tres índices que identifican con más claridad defectos de longitudes de onda corta, media y larga, posibilitando conocer en detalle el tipo de irregularidad y por ende facilitar la toma de medidas correctivas.

Según la mencionada metodología, es posible determinar defectos de longitud de onda baja (NPO; 0,7 a 2,8 metros), media (NMO; 2,8 a 11 metros) y alta (NGO; 11 a 45 metros). Se incluye en la Figura 16 un ejemplo de aplicación de esta herramienta.

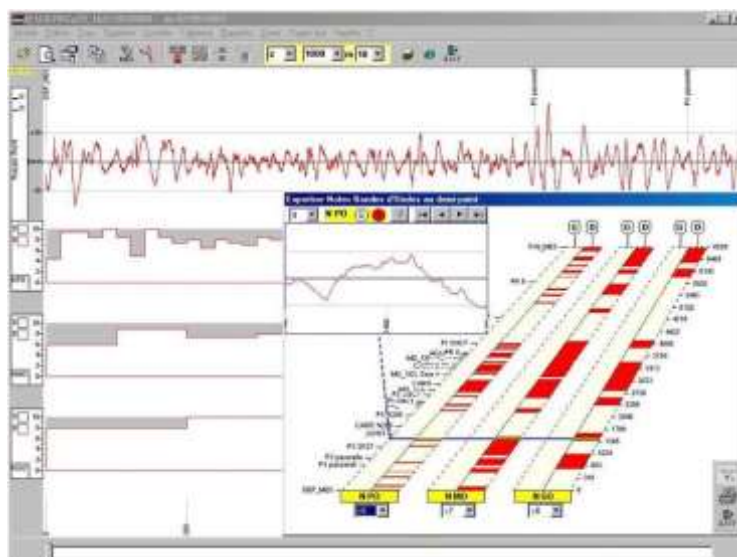


Figura 16: Clasificación según Notas de bandas de ondas (NPO, NMO y NGO)

En función de esta nueva herramienta, se deberían analizar y eventualmente modificar las actuales especificaciones y exigencias para este parámetro.

Por su parte, la mayor precisión y menor dispersión en los resultados que los equipos inerciales brindan, posibilitan también la adopción de cambios en las especificaciones, favoreciendo la incorporación de un sistema de premios o bonos para incentivar a la industria de la construcción a mejorar la calidad. Una mayor calidad constructiva implica una mayor vida de servicio, redundando en ahorros significativos. De esta manera, si los resultados de la regularidad superficial de la capa asfáltica mejoran los límites establecidos para la aceptación, se podrá incrementar el ítem de la mezcla asfáltica en un cierto porcentaje, a modo de premio o bono.

## Ahuellamiento

En cuanto al Ahuellamiento, el uso de equipos de alto rendimiento ha posibilitado ganar en objetividad, precisión, rendimiento y seguridad en su determinación.

Se deberán analizar los criterios estadísticos a emplear debido al paso de una metodología puntual por muestreo a una del tipo continuo con registro del 100 % de la superficie del pavimento. El registro de todo el perfil transversal también brindará nuevas posibilidades en cuanto a la determinación de otros indicadores tal como la deformación de borde. El empleo de la regla de 1,20 metros como referencia podrá ser analizado versus otras longitudes de referencia o la profundidad de huella máxima.

## Deflexiones

En cuanto a las Deflexiones medidas con los equipos Lacroix de la DNV, en general no se han utilizado los resultados en su totalidad, empleándose solamente los valores de Deflexión bajo carga y el radio de curvatura con fines de planificación vial, pero no así con toda la información de la línea de influencia registrada.

En [17], O. Giovanon y otros explican que si bien la base de referencia de las mediciones (puntos de apoyo del trineo del deflectógrafo) no es absoluta ya que pueden encontrarse dentro del propio cuenco de deformación, y la velocidad de medición difiere de la utilizada por los vehículos pesados en ruta, se concluye que es posible emplear el cuenco de la deformada obtenido para su empleo en la caracterización estructural del pavimento mediante retroajuste modular, de manera similar al caso de los resultados de los deflectómetros de impacto FWD.



Figura 17: Línea de influencia Deflectógrafo Lacroix DNV

De manera que los resultados de las mediciones de deflexiones con equipo Lacroix pueden ser también aprovechadas con fines del cálculo estructural mediante métodos racionales mecanistas, en forma adicional al empleo habitual de estos resultados a Nivel Red y con fines de planificación vial.



## 6. HACIA UNA NUEVA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

Como se ha descrito en el punto 4, en la actualidad es posible evaluar el 100% de la superficie de dos de los parámetros que componen el Índice de Estado IE (Rugosidad y Ahuellamiento) y restan los otros dos (Fisuración y Desprendimientos), los cuales se evalúan a pie o eventualmente con sistemas de imágenes, pero aún en un sector de 20 metros cada kilómetro, representando un muestreo de solo el 2 % de la superficie total del pavimento.

Resta analizar una modernización que posibilite incorporar una recolección de datos automatizada y con alto rendimiento de las degradaciones superficiales, como son la Fisuración y los Desprendimientos, de manera de dejar de ser un proceso lento, costoso y de perturbación del tránsito y de poca seguridad para el evaluador y el usuario del camino.

Hoy existen tecnologías 3D muy confiables que lo permiten, incorporando además el reconocimiento automático de las fallas en el 100 % de la superficie, tanto en tipo como severidad y extensión. Estos equipos registran perfiles 3D de alta resolución gracias a la proyección de una línea láser combinada con cámaras de alta velocidad y componentes ópticos avanzados, obteniéndose imágenes 2D y 3D con una resolución de 1 mm, en un campo transversal de 4 metros y hasta 100 km/h.

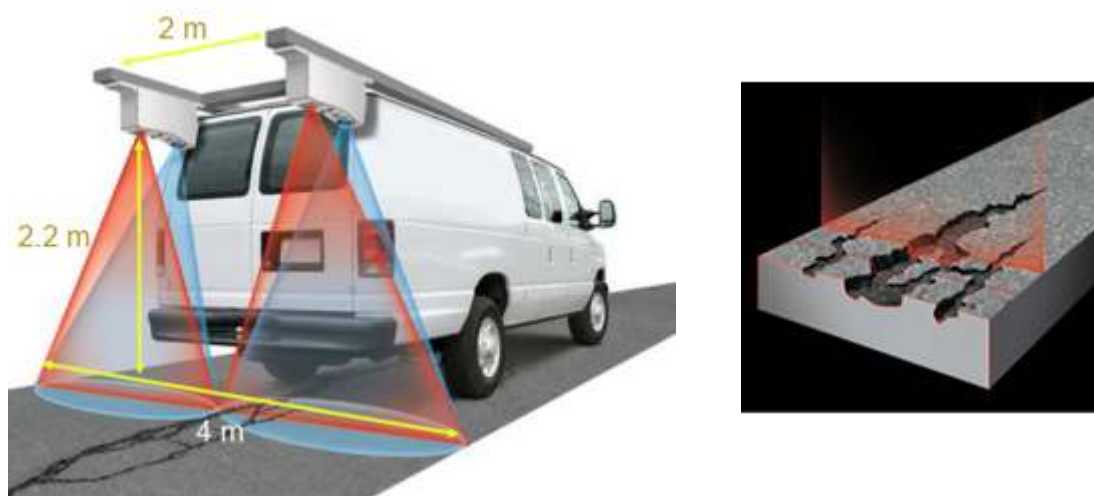


Figura 18: Sistema 3D para detección automática de fallas y degradaciones superficiales

La determinación simultánea de las fallas en forma automatizada junto con la del Ahuellamiento y la Rugosidad posibilitaría la determinación de los Índices de Estado IE en forma objetiva, precisa, segura y con un adecuado rendimiento.

Una vez que todos los parámetros de IE puedan auscultarse en un 100 % de la superficie, restará analizar una posible actualización de dicha metodología, de manera de aprovechar la significativa mayor y más confiable cantidad de información y en concordancia con los esfuerzos de armonización que se realizan a nivel mundial, pero a la vez manteniendo un indicador tan arraigado y con una evolución histórica de los deterioros, como lo es el IE.

Se trataría de pasar del IE (2%) al IE (100%), para lo cual se debería efectuar un estudio de equivalencia.

Una equivalencia entre los parámetros determinados con el método actual de captación de datos y los resultados del uso de los nuevos equipos, no puede ser deducida teóricamente ni en base a una muestra insuficiente de casos reales, sino como resultado práctico de la experimentación sobre un número adecuado de tramos significativos, en distintas regiones del país, sobre las cuales se efectúen mediciones con ambos métodos.

En cuanto a la Adherencia neumático-pavimento y los parámetros que la componen, es decir el Coeficiente de Fricción y la Macrotextura, corresponderá analizar la conveniencia o no de continuar con el uso del IFI, siendo éste un parámetro de difícil reproducibilidad mediante el uso de diferentes equipos y que no ha sido mayormente adoptado en el mundo. Tal vez, resulte más adecuado imitar la tendencia actual de varios países, en los que ambos parámetros se monitorean en forma independiente.

## **7. CONSIDERACIONES FINALES**

Se ha efectuado un resumen o balance de 35 años de experiencia en la Evaluación de Pavimentos en la Argentina.

Se ha realizado una reseña histórica, sus inicios, desarrollo y avances en el período citado, distinguiendo equipamientos de metodologías, hasta llegar a la situación actual.

Se han citado nuevas posibilidades de aplicaciones de resultados en función de los equipos disponibles y finalmente se dejan planteadas propuestas o desafíos para el futuro inmediato o de mediano plazo, mediante la incorporación de nuevas tecnologías pero también adecuando a ellas las metodologías existentes.

## **8. BIBLIOGRAFIA**

- [1] Tagle A.L., Sanvitale A.J., Rodríguez P.G., y Tang P., "Estudio de Necesidades Viales". Simposio sobre Evaluación y Refuerzo de Pavimentos y la Energía en el Transporte. Tucumán, Septiembre de 1980.
- [2] A. Tagle, J. Tosticarelli, E. Petroni "Primeras experiencias de utilización de Deflectógrafos Lacroix en Argentina", Primer Congreso Latinoamericano del Asfalto, Río de Janeiro, Brasil, 1981 y Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées Nro 121, 1983.
- [3] "Metodología de Evaluación de Estado de los Pavimentos". Publicación de la Dirección Nacional de Vialidad, República Argentina, 1983.
- [4] Sayers, Gillespie, Paterson, Publicación Técnica N° 46 Banco Mundial "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements", 1986.
- [5] J. Tosticarelli, M. Pagola, "Calibración de Rugosímetros según Patrones Internacionales", Vigésima Sexta Reunión del Asfalto, Buenos Aires, Argentina, 1990
- [6] Poncino H., Pagola M., Giovanon O., y Noste M., "Actualización de Condiciones Técnicas exigidas a las Calzadas Pavimentadas sobre Rugosidad de Pavimentos". Carreteras N° 149, pág. 44. Octubre de 1995

- [7] Experiencia Internacional AIPCR de Comparación y Armonización de las mediciones de Macrotextura y Resistencia al Deslizamiento. Asociación Mundial de la Ruta AIPCR, Comité Técnico de Características Superficiales C1, 1995
- [8] Pagola M., Giovanon O., Rodriguez, P., Mazzitelli. D., Calibración a IFI de los equipos para medir la adherencia neumático calzada de la Dirección Nacional de Vialidad, XXXIV Reunión del asfalto, 2006, Mar del Plata
- [9] Tosticarelli J, Mezzelani G., Muzzulini J. y Martinez P., “La cuantificación de los parámetros fundamentales del perfil transversal con equipos de alto rendimiento, Simposio CPA “Evaluación y refuerzo de pavimentos”, Buenos Aires, Argentina, diciembre 2003
- [10] Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) Méthode d’essai N° 49 “Mesure et interprétation du profil en travers” : Nantes, Francia, Septiembre 2001.
- [11] Norma ASTM E 950, “Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference”
- [12] Abrate F., Novoa F., Mazzitelli D., Gafurri N., Viano A., Raillat P., Tosticarelli J, Mezzelani G., “Adquisición y puesta en servicio de nuevo equipamiento de auscultación de pavimentos de la DNV, República Argentina” XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Córdoba, Argentina, Octubre 2012
- [13] Mezzelani G., Martinez P y Muzzulini, J. “Inventario vial automatizado empleando un equipo multifunción” XXXIV Reunión del Asfalto, Mar del Plata, Argentina, Noviembre 2006
- [14] Mezzelani G., “Design, assembly and initial operation of a multifunction device for pavement and road safety condition monitoring in Argentina”, Pavement Evaluation Conferences 2010, Roanoke, Virginia, USA, Octubre de 2010.
- [15] IFSTTAR ; “Mesure de l’uni longitudinal des chaussées routières et aéronautiques, exécution et exploitation des relevés profilométriques”, Méthode d’essai N 46, version 2.0, Julio 2009
- [16] Circulaire DR2000-36 Direction des Routes, France, “Contrôle de l’uni longitudinal des couches de roulements neuves”. Mayo 2000
- [17]. Giovanon, O y Pagola M, “Modelización estructural con deflectometría Lacroix”, Lisboa, Portugal, XV CILA Noviembre 2009
- [18] Sanvitale. A, Tosticarelli J, Martinez P., Mezzelani G., “Modernización de la toma de datos de la Metodología de Evaluación de Pavimentos”. XXXI Reunión del Asfalto, Carlos Paz, Córdoba, Noviembre 2000
- [19] Tosticarelli J, Martinez P., Mezzelani G., Muzzulini J., Pagola M., Giovanon O. “La Auscultación de Pavimentos en la Argentina. Su evolución y estado actual”, XXXIV Reunión CPA, Mar del Plata. Noviembre 2006