



# METODOLOGÍA DE ANÁLISIS EN LOS PROYECTOS DE REFUERZO DE PAVIMENTOS

**Autores:**

**Inga. Diana CAINELLI**

**Ing. Gustavo MEZZELANI**

**Ing. Mario NOSTE**

**Ing. Jorge TOSTICARELLI**



**ITYAC, Ing. Tosticarelli y Asociados S.A.**



# INTRODUCCIÓN

- El objeto de esta presentación es describir los **elementos claves** de una **METODOLOGÍA** desarrollada para el estudio de un proyecto de **rehabilitación de pavimentos**:
  - 1. Recopilación y análisis de los ANTECEDENTES y TRÁNSITO
  - 2 y 3. Procesamiento y análisis de las AUSCULTACIONES
    - del estado superficial
    - y estructural de los pavimentos
  - 4 y 6. Aplicación de MÉTODOS DE DISEÑO
    - empíricos
    - y racional – mecanicistas,
  - 5. ANÁLISIS DE DISTINTAS ALTERNATIVAS
  - 6. SELECCIÓN DE LAS MEJORES SOLUCIONES técnico – económicas



# 1. ANTECEDENTES

- Emplazamiento del Proyecto:
  - Identificación del lugar del emplazamiento
  - Vinculación del sector en estudio con otras vías de enlace
  - Eventos y localidades que intercepta a su paso, cruces de ríos y ferrocarriles,
  - Zona de influencia
  - Tipo y volumen del tránsito.
  - Ubicación de dentro de la región que atraviesa (mapa)



# 1. ANTECEDENTES

- Antecedentes constructivos y/o intervenciones
  - Recurriendo a reparticiones nacionales, provinciales
  - empresa Concesionaria o
  - empresas constructoras
  - Para recomponer el **PAQUETE ESTRUCTURAL**
    - tipo de capa,
    - espesor,
    - fecha de su ejecución
    - y, de contarse con el dato, empresa constructora.



# 1. ANTECEDENTES - TRÁNSITO

- TMDA (Tránsito Medio Diario Anual)
  - Informe anual de la Dirección Nacional de Vialidad
  - Estaciones de Peaje
  - Censos Vehiculares planificados para el proyecto en cuestión.
- Número “N” de ejes equivalentes en efecto destructivo a ejes de 8,16 toneladas,
  - Procedimiento utilizado por la Dirección Nacional de Vialidad
  - Coeficientes de efectos destructivos (análisis ex profeso o en vías de similares características).

$$\text{Año } i: N_{8,16 \text{ tn}} = S \text{ Número "N"}_{8,16 \text{ tn}} (\text{vehículo } i)$$



# 1. ANTECEDENTES - TRÁNSITO

- Crecimiento anual acumulativo
  - en función de la historia y del impacto de la rehabilitación
- Coeficiente de direccionalidad (en general igual a 0,5)
- Período de diseño  $T$  [años].

## SOLICITACIÓN DE DISEÑO

en términos de “número de ejes de 8,16 Tn equivalentes en efecto destructivo” (Número “N”).



## 2. RELEVAMIENTO DEL ESTADO SUPERFICIAL

### ■ INSPECCIÓN VISUAL

- Consiste en una o varias recorridas para **tomar conocimiento** sobre el estado actual de la calzada y sus características más relevantes vinculadas con el deterioro en superficie
- registros fotográficos ilustrativos de este recorrido



## 2. RELEVAMIENTO DEL ESTADO SUPERFICIAL

- MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN LONGITUDINAL O RUGOSIDAD (IRI)

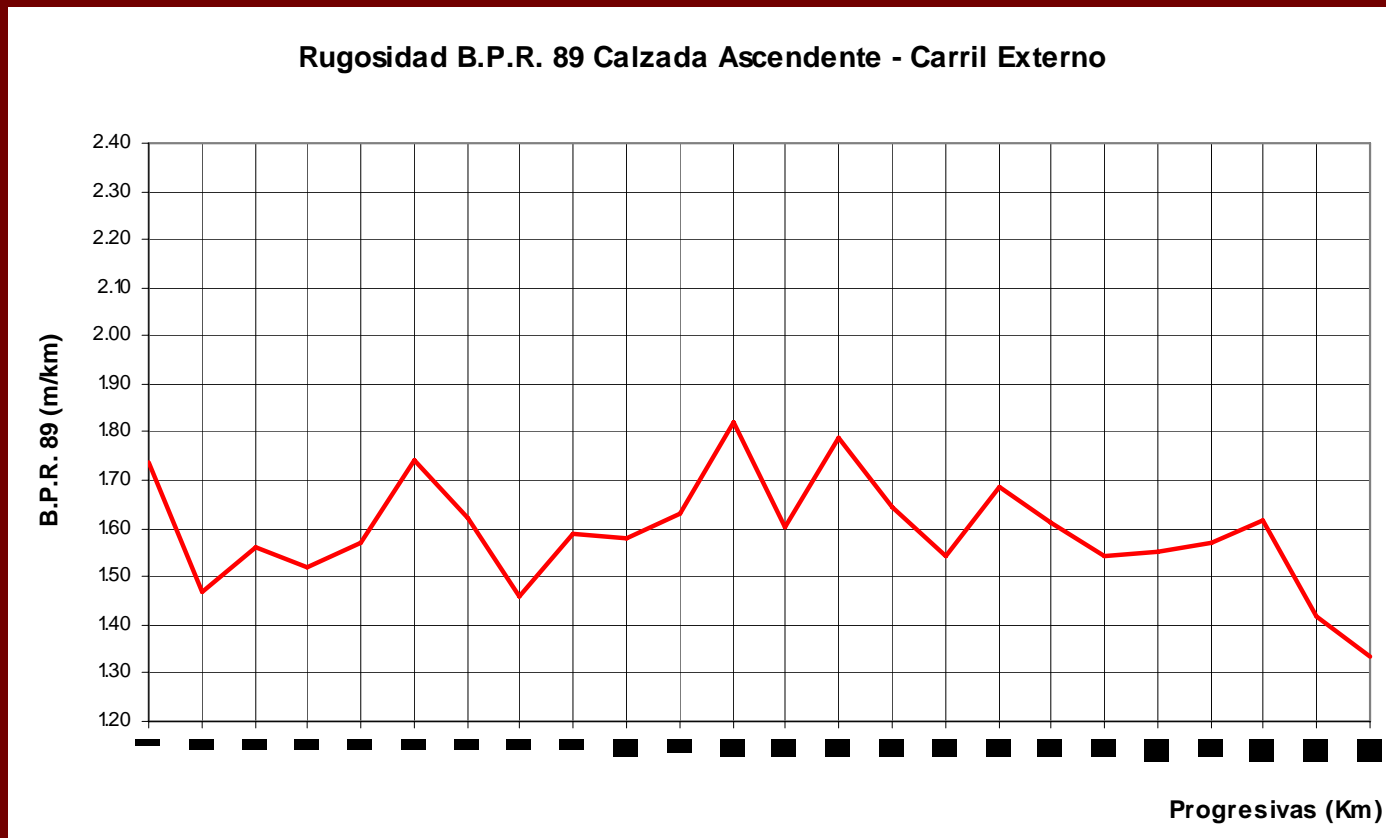
### RUGOSÍMETRO MAYS-JMF





## 2. RELEVAMIENTO DEL ESTADO SUPERFICIAL

### ■ MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN LONGITUDINAL O RUGOSIDAD





## 2. RELEVAMIENTO DEL ESTADO SUPERFICIAL

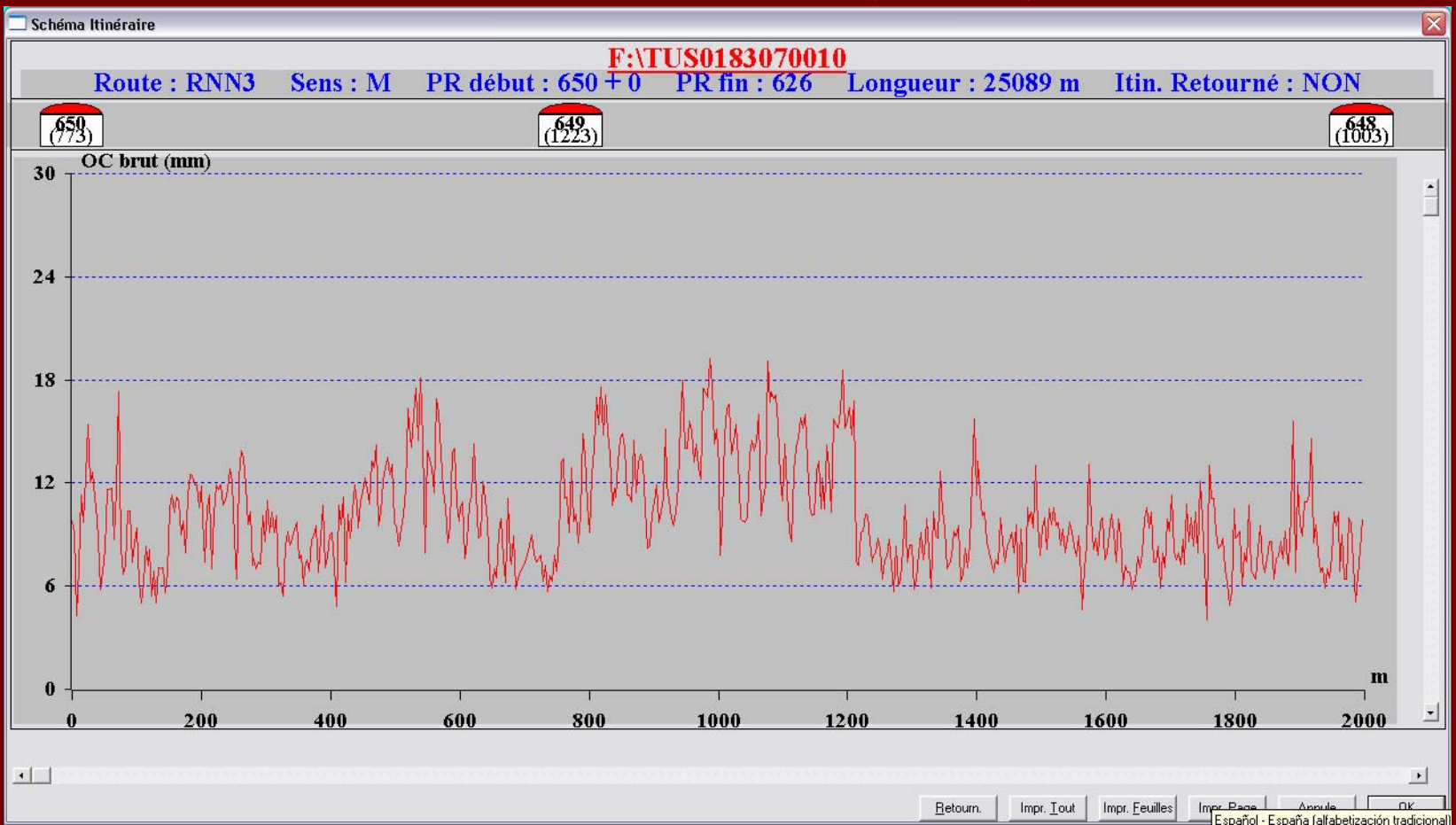
- MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN TRANSVERSAL CON EQUIPO DE ALTO RENDIMIENTO (T.U.S.)





## 2. RELEVAMIENTO DEL ESTADO SUPERFICIAL

- MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN TRANSVERSAL CON EQUIPO DE ALTO RENDIMIENTO (T.U.S.)





## 2. RELEVAMIENTO DEL ESTADO SUPERFICIAL

- RELEVAMIENTO DE LOS DETERIOROS SUPERFICIALES CON EQUIPO DE ALTO RENDIMIENTO (ASTRA)





## 2. RELEVAMIENTO DEL ESTADO SUPERFICIAL

- RELEVAMIENTO DE LOS DETERIOROS SUPERFICIALES CON EQUIPO DE ALTO RENDIMIENTO (ASTRA)

The screenshot displays the ASTRA software interface, which is used for road surface inspection. The main window is titled "Visor de Sesiones" and shows a data visualization for "RN 7 - SECCIÓN S7 y S8 - DESC". The interface is divided into several panels:

- Eventos Continuos:** A horizontal bar chart showing continuous events like "Fisuras de Fatiga" (Fatigue Cracks) and "Peladuras" (Potholes) along the road section.
- Eventos Puntuales:** A list of point events such as "Baches" (Potholes), "Observación puntual" (Point Observation), "PR" (Pavement Rating), and various "Señal. Vert." (Vertical Signs) like "Señal. Vert. Informativa", "Señal. Vert. Preventiva", and "Señal. Vert. Reglamentaria".
- Información:** A table providing a summary of the events. The table has columns for "Icono", "Evento", "Inicio", "Fin", "Valor", "Estilo", and "Umbral".
- Visor de Imagenes:** A window showing a 3D perspective view of the road surface, with a red car icon indicating the current position.
- Vista en Planta:** A window showing a top-down view of the road section, with a red line representing the road's path and a red car icon.

Icono	Evento	Inicio	Fin	Valor	Estilo	Umbral
	Fisuras de Fatiga	21	117	3	Alto	
	Fisuras de Fatiga	117	264	2	Moderado	
	Fisuras de Fatiga	264	1093	1	Leve	
	Peladuras	408	1786	1	Leve	
1204	PR	942	942	PR1204	PR	
	Fisuras de Fatiga	1093	1725	2	Moderado	

Generación satisfactoria.



## 3. RELEVAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL

### ■ MEDICIÓN DE DEFLEXIONES

- Deflectómetro de Impacto ó FWD (Falling Weight Deflectometer)

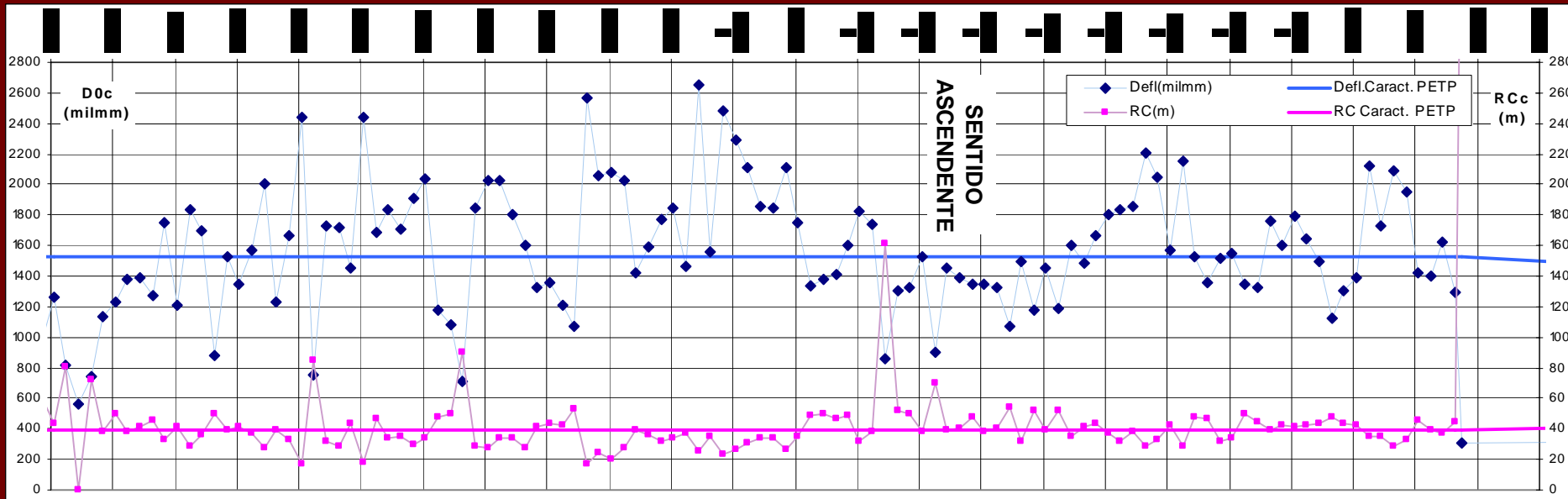




# 3. RELEVAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL

## MEDICIÓN DE DEFLEXIONES

- Normalización por carga y corrección por temperatura y por espesor asfáltico,

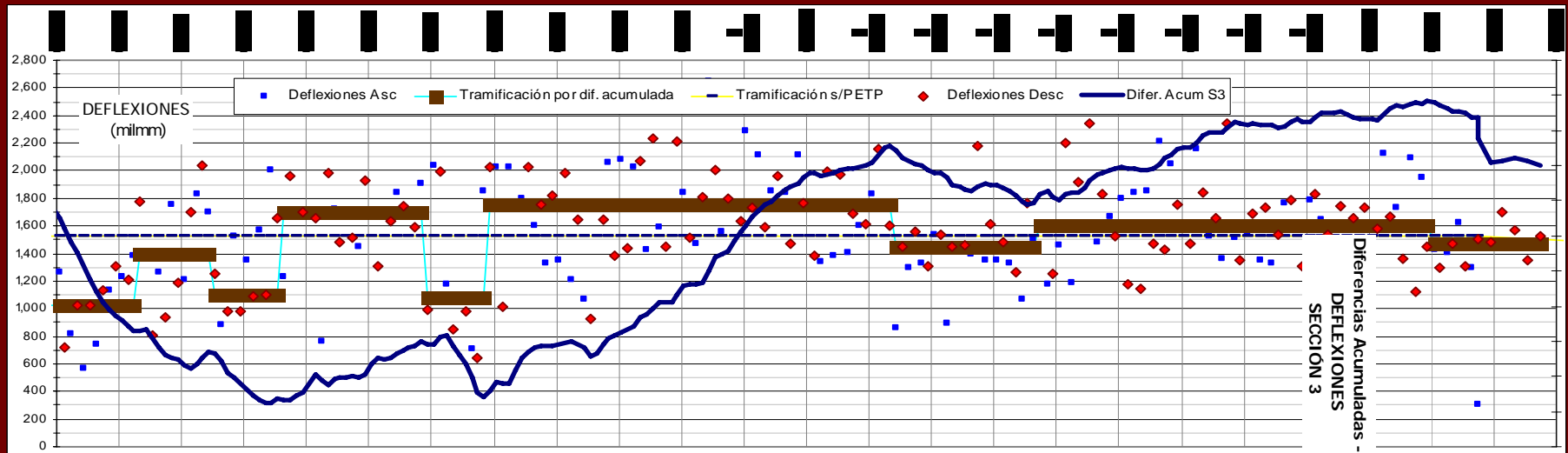




# 3. RELEVAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL

## ■ MEDICIÓN DE DEFLEXIONES

- Gráfico de Diferencias Acumuladas F.W.D. que posibilita la identificación de los subtramos atendiendo a diferentes respuestas estructurales.





## 3. RELEVAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL

### ■ CALADO DE TESTIGOS

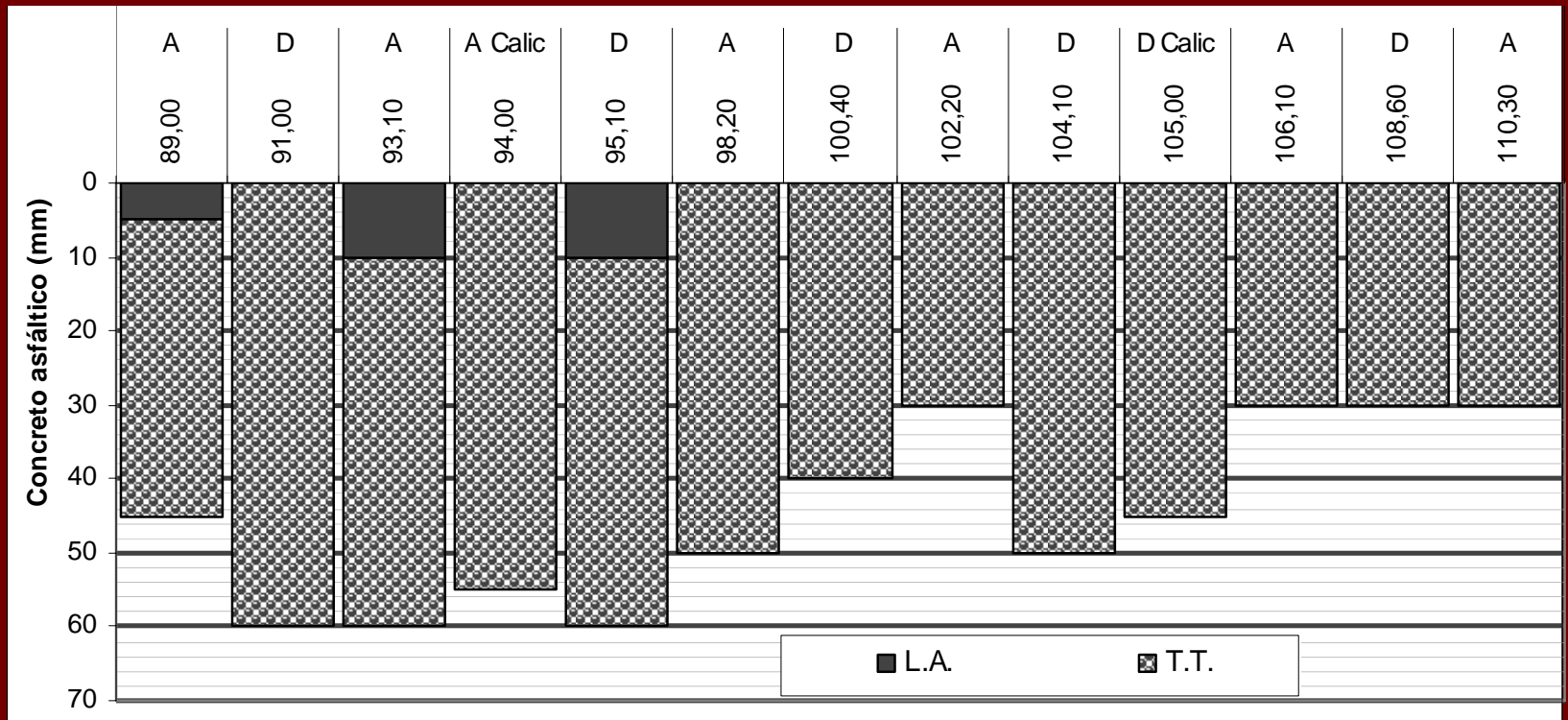
- Para corroborar la estructura existente según los antecedentes obtenidos y constatar el estado de las capas asfálticas.





# 3. RELEVAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL

- CALADO DE TESTIGOS
  - ESPESORES ASFÁLTICOS

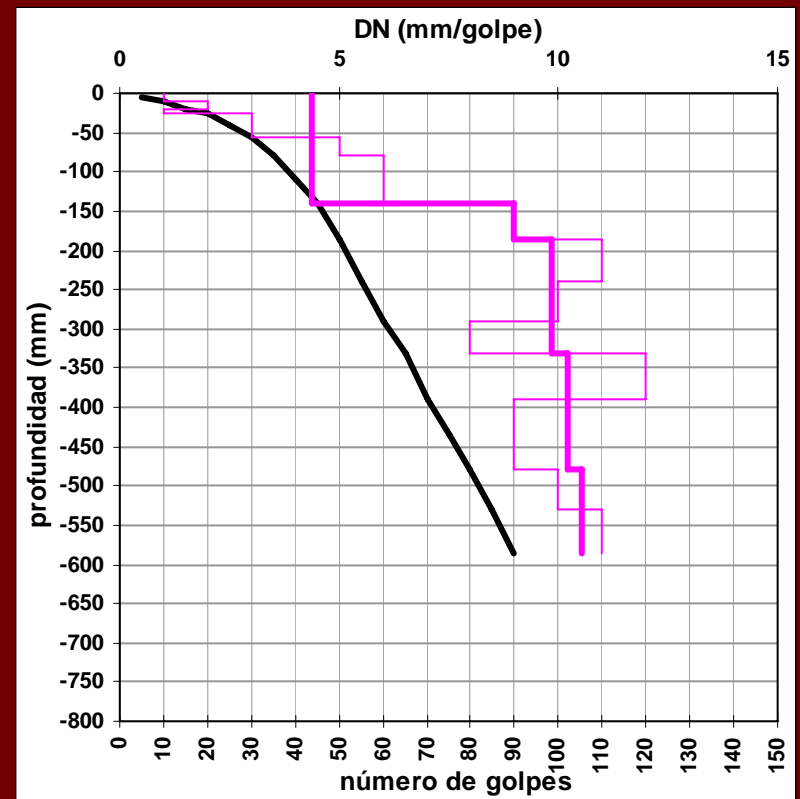




### 3. RELEVAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL

#### ■ PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

- Capacidad portante de las capas no ligadas subyacentes mediante el ensayo DCP (Penetrómetro Dinámico de Cono).

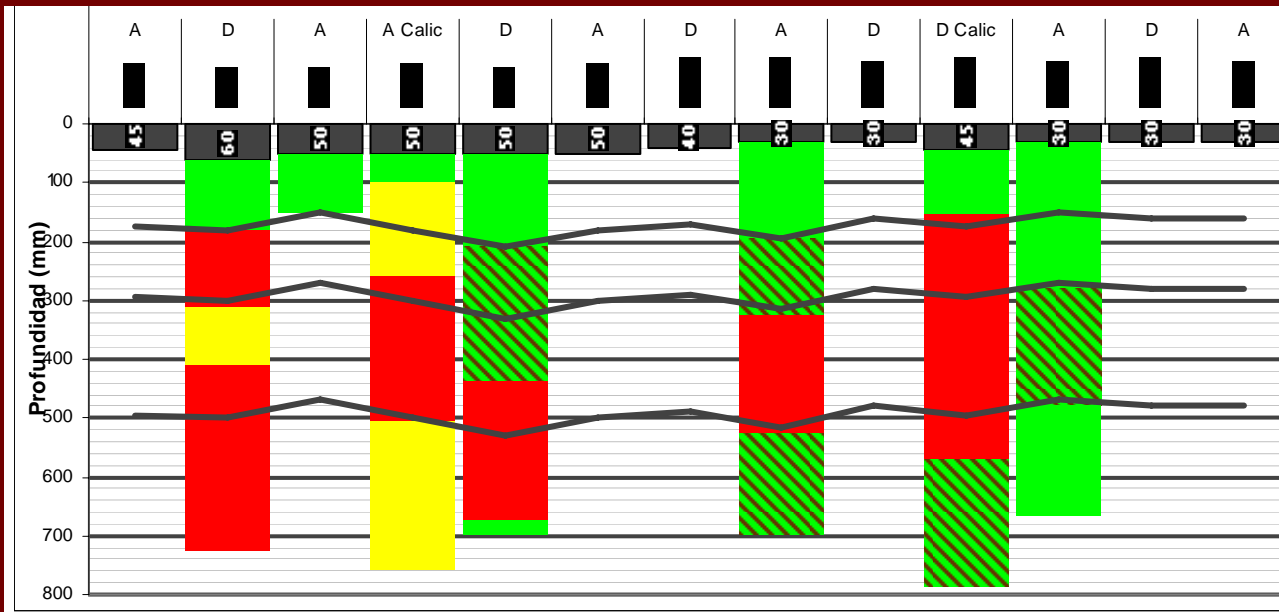




# 3. RELEVAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL

## ■ PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

CAPA	ENTORNOS			
Estabilizado Granular	DN < 4	4 < DN < 6	6 < DN < 8	DN > 8
Suelo Arena Cal	DN < 6	6 < DN < 8	8 < DN < 10	DN > 10
Subrasante	DN < 10	10 < DN < 15	15 < DN < 20	DN > 20





## 3. RELEVAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL

### ■ APERTURA DE CALICATAS





## 3. RELEVAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL

### ■ APERTURA DE CALICATAS





## 4. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL

- Dos métodos de diseño sustentados principalmente en la medición de deflexiones, con equipo de impacto (FWD).
  - Guía de Diseño de AASHTO 93 (método empírico)
  - Método Racional – Mecanicista de Análisis de Tensiones y Deformaciones BackVid (desarrollado por el Laboratorio del IMAE).



## 4. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL

### ■ MÉTODO EMPÍRICO – AASHTO 93

- $S_{Neff}$ : Capacidad estructural del pavimento existente, o número estructural efectivo, mediante:
  - (1) Análisis a partir del estado de las capas ligadas y ensayos de las no ligadas (AASHTO 93, Parte III, Capítulo 5, Punto 5.3.3., punto (1)).
  - (2) Análisis a partir de mediciones deflectométricas (AASHTO 93, Parte III, Capítulo 5, Punto 5.3.3., punto (2)).



## 4. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL MÉTODO EMPÍRICO – AASHTO 93

- (1) Análisis a partir del estado de las capas ligadas y ensayos de las no ligadas:  $S_{Neff}$ 
  - Asignación de coeficiente de aporte estructural ( $a_i$ ) a cada capa:
    - Mezclas asfálticas:  $a_i$  función del estado de deterioro (p III-105, Table 5.2 Guía)
    - Capas no Ligadas,  $a_i$  en función de sus módulos (punto 2.3.5.)
      - Base:  $a_b = 0,249 (Lg Mr) - 0,977$  (pag. II-20)
      - Subbase:  $a_{sb} = 0,277 (Lg Mr) - 0,839$  (pag. II-22);  $a_b$  [1/pulg] ;  $E_b$  [psi]
      - Los módulos se obtienen por correlaciones con valores de DN (mm/golpe) (IMAE).
        - Suelos granulares:  $Mr \text{ (MPa)} = 400 \times DN^{-0,5}$
        - Suelos Finos:  $Mr \text{ (MPa)} = 200 \times DN^{-0,5}$

$$S_{Neff} = \sum e_i \times a_i \quad (1)$$



## 4. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL MÉTODO EMPÍRICO – AASHTO 93

### ■ (2) Análisis a partir de mediciones deflectométricas (FWD)

a) MR: El módulo resiliente de la subrasante

$$MR = 0,24 \times P / (dr \times r)$$

P: carga aplicada (lbs) / dr: deflexión a distancia r del centro del plato de carga (pulg) / r: distancia desde el centro del plato de carga (pulg) tal que  $\geq 0,7 \times ae$ ;  $ae = (a^2 + (D \times (Ep / MR)^{1/3})^2)^{1/2}$

b) S<sub>Neff</sub>: capacidad estructural existente ó número estructural efectivo.

$$S_{Neff} = 0,0045 \times D \times (Ep)^{1/3}$$

D: espesor total de capas sobre subrasante (pulg) / **Ep**: módulo efectivo de capas sobre la subrasante (lbs/pulg<sup>2</sup>)

$d_0 = 1,5 \times p \times a \times (1 / (MR (1 + (D/a (Ep/MR)^{1/3})^2)^{1/2} + (1 - 1 / (1 + (D/a)^2)^{1/2}) / Ep)$

**d<sub>0</sub>**: deflexión en el centro, a 20 °C (pulg) / **p**: presión (lbs/pulg<sup>2</sup>) / **a**: radio (pulg)



## 4. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL MÉTODO RACIONAL - RETROCÁLCULO

- Se obtiene un **modelo multicapas teórico** que represente la estructura del pavimento, a través del espesor, módulo de deformación y coeficiente de Poisson de cada una de sus capas componentes.
- Mediante un programa aplicable a estructuras multicapas elásticas (BACKVID), se realiza un proceso iterativo en el cual,
  - establecidos los espesores y propiedades elásticas de cada capa,
  - se determinan las deflexiones hipotéticas que sufriría el modelo en las mismas condiciones de carga con que se ha ejecutado la medición de deflexiones en el campo (deflexiones F.W.D., en este caso).



## 4. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL MÉTODO RACIONAL - RETROCÁLCULO

- Se arriba a la **modelización estructural**:
  - función de los valores característicos de las deflexiones,
  - considerando los ensayos DCP y los antecedentes,
  - en aquellos puntos donde los cuencos deflectométricos son representativos del comportamiento estructural.
- Cada capa de la estructura queda representada por su espesor y su módulo de deformación.
- Permite inferir el grado de **responsabilidad de cada capa** en el deterioro del pavimento.



## 4. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL MÉTODO RACIONAL - RETROCÁLCULO

Capa	Tipo	Altura (mm)	Módulo (MPa)
	<b>Concreto Asfáltico Existente</b>	<b>90</b>	<b>600</b>
	<i>Suelo Arena Emulsión</i>	<i>140</i>	<i>186</i>
	<i>Suelo Cal</i>	<i>180</i>	<i>117</i>
	<i>Suelo Seleccionado</i>	<i>200</i>	<i>62</i>
	<i>Subrasante</i>		<i>58</i>

- Bajos valores modulares de las mezclas asfálticas, con módulos bajos, asociado al avanzado estado de fisuración y envejecimiento del cemento asfáltico.
- Modelo de acuerdo al estado de superficie y auscultaciones de DCP, calados y calicatas.

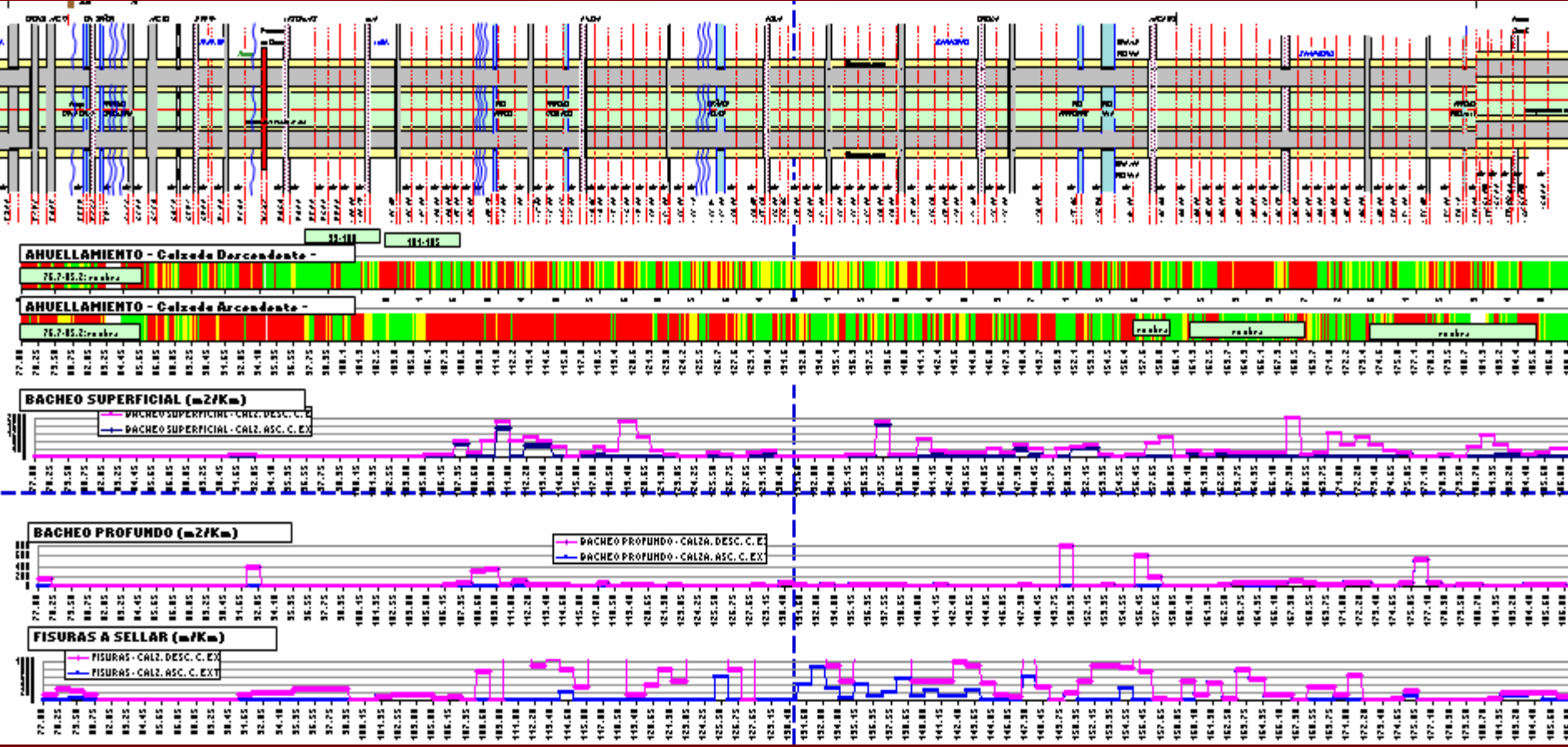


## 5. DIAGNÓSTICO

- Reunida toda la información analizada, superponiendo los resultados que arrojaran los puntos 2 a 4 en un perfil longitudinal, ya sea en valores absolutos o con algún criterio de penalización, puede efectuarse el **diagnóstico**.
- Se obtiene una apreciación visual que **engloba toda la problemática** del tramo y/o ruta que se estudia:
  - el comportamiento estructural y
  - el estado superficial



# 5. DIAGNÓSTICO







## 5. DIAGNÓSTICO

- Luego puede arribarse a la/las alternativa/s de rehabilitación
  - desde intervenciones meramente superficiales
  - hasta de refuerzos y/o reconstrucción de alguna capa del paquete estructural.



## 6. ESPESORES DE REFUERZO PARA REAHABILITACIÓN ESTRUCTURAL

- Definida la alternativa de intervención y si esta resulta ser un **refuerzo estructural**, se recurre para el cálculo del mismo, nuevamente a los dos métodos de diseños mencionados:
  - el empírico AASHTO 93
  - el racional mecanicista BACKVID.



## 6. ESPESORES DE REFUERZO

### AAHSTO 93

- **SN<sub>nec</sub>**: número estructural necesario para que la estructura admita el número de ejes (tránsito) de diseño, ecuación básica de diseño de AASHTO.
- Adopción de hipótesis básicas de diseño, como la confiabilidad del diseño:  $S_0$  (desviación estándar),  $R$  (confiabilidad) y serviciabilidad inicial y final. (para ello se siguen las recomendaciones de la Guía)
- El  $DSN = SN_{nec} - SN_{eff}$ , deberá ser compensado con un espesor de mezcla asfáltica o alguna otra propuesta de rehabilitación.
  - Por ejemplo, admitiendo que el coeficiente de aporte del mismo es igual a  $0,17 \text{ 1/cm}$ , resulta:

$$\text{Espesor de Refuerzo (cm)} = (SN_{nec} - S_{neff}) / 0,17$$



## 6. ESPESORES DE REFUERZO MÉTODO RACIONAL - MECANICISTA

- Obtenidos los modelos estructurales por retrocálculo, se calcula los **espesores de refuerzo** mediante la determinación de las **tensiones y deformaciones críticas** para diferentes puntos singulares, empleando el programa BACKVID.
- Combinadas con **leyes de fatiga de cada material**, permiten estimar la **vida útil** del pavimento hasta la aparición de deterioros no admisibles.



## 6. ESPESORES DE REFUERZO MÉTODO RACIONAL - MECANICISTA

- Los puntos singulares se identifican con las fibras inferiores de las capas asfálticas y las interfaces de contacto entre, la base y la sub base; y ésta y la subrasante:

Capa Asfáltica	$\epsilon_t$ ↓ $\epsilon_{z1}$	$E_1 ; h_1$
Base	↔ ↓ $\epsilon_{z2}$	$E_2 ; h_2$
Sub base	↓ $\epsilon_{z3}$	$E_3 ; h_3$
Subrasante		$E_{SUBR}$

$h_1, h_2, h_3$  : espesores de las capas.

$\epsilon_t$ : deformación específica a tracción en la fibra inferior de la capa asfáltica.

$\epsilon_z$ : deformación específica de compresión en la superficie de la base, sub base y la subrasante.



## 6. ESPESORES DE REFUERZO MÉTODO RACIONAL - MECANICISTA

- Para cada uno de estos puntos, el programa realiza una **comparación entre la tensión o deformación calculada y la que resulta de la correspondiente ley de falla.**
- Se obtiene el **número de reiteraciones admisibles** de la carga de referencia aplicada para esa capa, para alcanzar el deterioro límite del material.
- **Conocidas las solicitaciones del tránsito** en términos de número “N” acumuladas para la estructura real, por comparación se determina la **expectativa de vida útil** de la estructura evaluada.



## 6. ESPESORES DE REFUERZO

### MÉTODO RACIONAL - MECANICISTA

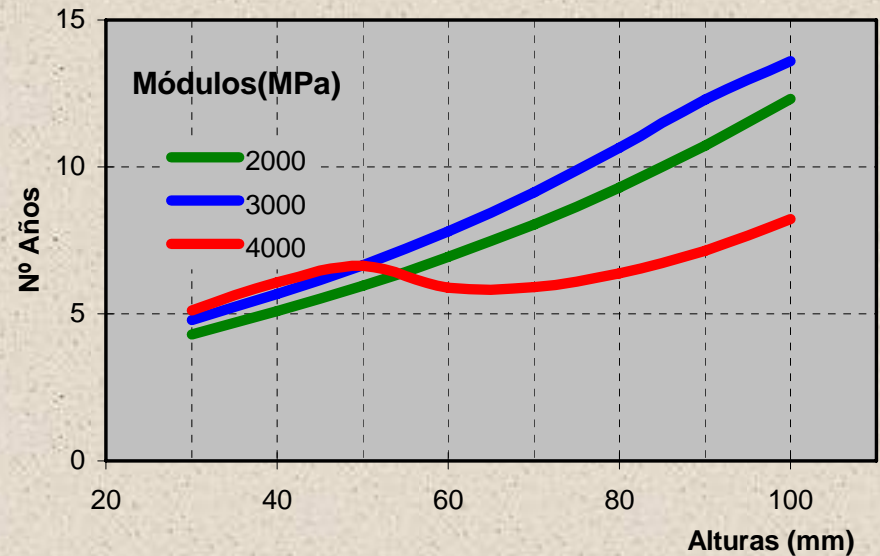
- La vida útil de la estructura queda determinada por la vida útil de aquella capa constitutiva con menor expectativa de vida.
- Esto destaca a este método respecto de AASHTO 93 donde:
  - el  $N$  admisible de la estructura queda determinado solamente por la limitación de deformaciones a nivel de subrasante (ahuellamiento),
  - sin posibilidades de valorar, por ejemplo, las tensiones críticas de tracción en las fibras inferiores de las capas asfálticas (falla por fisuración).



# 6. ESPESORES DE REFUERZO MÉTODO RACIONAL - MECANICISTA

## Estructura Analizada

Tipo	Espesor (mm)	Módulo (MPa)
Asfáltica CA	Variable	Variable
Asfáltica CA	120	500
Base Granular	200	129
Sub Base Granular	200	74
Subrasante		36





## 7. CONSIDERACIONES FINALES

- Se ha descrito una metodología de trabajo para abordar proyectos de rehabilitación de pavimentos
- La misma, aplicada en proyectos de rehabilitación de diferentes características y/o envergadura, se caracteriza por su **flexibilidad y superación continua**.
- El empleo de **equipos de auscultación de alto rendimiento** constituye,
  - además de una importante y ágil herramienta para la cuantificación de la **preparación de la superficie**,
  - un valioso aporte de información de detalle para el momento de efectuar **el diagnóstico** del sector en estudio.



## 7. CONSIDERACIONES FINALES

- Al contar con toda la información analizada, superponiendo los resultados en un perfil longitudinal de la calzada, ya sea en valores absolutos o con algún criterio de penalización, se accede a una apreciación visual que engloba toda la problemática:
  - el comportamiento estructural
  - y el estado superficial
- Luego, pueden identificarse las alternativas de rehabilitación desde intervenciones:
  - meramente superficiales
  - hasta intervenciones de refuerzo estructural o reconstrucción.



## 7. CONSIDERACIONES FINALES

- Se destaca la conveniencia de **contrastar métodos de diseño** de carácter empírico y racional mecanicista:
  - Mediante **AASHTO 93**, método empírico por excelencia, sólo es posible valorar, el aporte estructural que limita **deformaciones en la subrasante**.
  - Con la aplicación de un **Método de Diseño Racional – Mecanicista**, se logra la valoración modular capa por capa y la identificación de cuáles serán aquellas que determinarán el fin de la vida útil estructural:
    - las **capas no ligadas** estarán regidas por el **ahuellamiento**
    - y las **capas asfálticas**, por la **fisuración**.



XXXV REUNIÓN DEL ASFALTO  
NOVIEMBRE DE 2008 – ROSARIO, ARGENTINA

MUCHAS GRACIAS