

XXXVI REUNIÓN ANUAL DEL ASFALTO
2010, Buenos Aires, Argentina

**IMPORTANCIA DE UNA ADECUADA CARACTERIZACIÓN DE
MATERIALES GRANULARES NO LIGADOS EN EL
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS**

M. Cauhapé Casaux, S.M. Angelone, O. Giovanon & F. Martínez

*Laboratorio Vial – Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (I.M.A.E.)
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Riobamba y Berutti (2000) Rosario – Argentina.
Tel. 54-341-4808538 – Fax: 54-341-4808540
marina_cc02@yahoo.com.ar, sangelon@fceia.unr.edu.ar,
ogiovano@eie.fceia.unr.edu.ar & fermar@fceia.unr.edu.ar*

RESUMEN:

Este trabajo describe diferentes formas de caracterizar a los materiales integrantes de las estructuras de pavimento y en particular los materiales granulares para la determinación de los parámetros de ingreso de los métodos de diseño de pavimentos flexibles. Para la comparación de las alternativas que se plantean se adopta una metodología empírico-mecanicista con diferentes grados de complejidad del modelo estructural mediante el uso del Programa BackVid (versión 2009) desarrollado en el Laboratorio Vial del IMAE-FCEIA-UNR.

Se presenta un análisis de sensibilidad para diferentes caracterizaciones de los suelos en una misma estructura del camino. Finalmente, sobre un tramo correspondiente a una ruta nacional, se evalúa las diferencias en el diseño estructural ocasionadas por una inadecuada caracterización de los materiales así como el análisis de costos correspondiente. Los resultados obtenidos se han avalado a través del comportamiento observado in situ de dicho tramo una vez que fuera habilitado al tránsito.

Palabras clave: pavimentos flexibles – suelos granulares – módulo resiliente – diseño estructural

1 INTRODUCCIÓN

El pavimento, desde el punto de vista ingenieril, se define como una estructura formada por una o más capas, sobre la que actúan cargas de superficie. Dicha estructura debe ser capaz de transmitir durante su vida útil las tensiones, generadas por las cargas, en profundidad, de tal forma que no se superen las tensiones y deformaciones específicas admisibles, tanto en el suelo de fundación como en cada una de las capas que forman la estructura del camino.

Durante el proceso de análisis estructural de un pavimento, ya sea aplicado a un nuevo diseño estructural como al proyecto de sus refuerzos, se requiere el conocimiento de los parámetros mecánicos que caracterizan el comportamiento in situ de cada uno de los materiales intervinientes.

El objetivo que se plantea es poner de manifiesto la influencia o importancia de caracterizar en forma apropiada cada uno de los materiales intervinientes en la estructura de un pavimento en la vida útil del mismo. Se focaliza el análisis de la caracterización de las capas de suelos y materiales granulares no ligados y su relación con capas de rodamiento. Para ello se plantea, sobre un tramo correspondiente a una ruta nacional actualmente en servicio, las diferencias en el diseño (espesores de la capas) ocasionadas por una inadecuada caracterización de los materiales y un análisis de los costos asociados. Ref. [1]

2 MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 *Diseño Estructural Mecanicista de Pavimentos*

En las estructuras de pavimento, los parámetros utilizados para su dimensionamiento presentan condiciones particulares (elevados costos y dimensionamiento a rotura) que obligan a completar el análisis teórico del problema con estudios de comportamiento de pavimentos en servicio tendientes a un mejor ajuste del diseño y a la optimización de los costos.

Dicho estudio es realizado en base a las solicitaciones a las que están sometidas las estructuras viales, generadas a partir de la acción combinada de una serie de factores (cargas de tránsito, historia de tensiones, el medio ambiente) así como también características del trabajo conjunto de todos los materiales componentes. Ref. [2], [3], [4]

Para el presente estudio se utiliza como herramienta de diseño el programa BACKVID (versión 2009) el cual permite la modelización, simulación de deflexión, verificación y diseño estructural de pavimentos. Este procedimiento ajusta los módulos y/o ecuaciones constitutivas de las distintas capas de una estructura vial, en base a la medición de deformaciones en superficie o mediante características de los materiales y efectúa el análisis del comportamiento estructural de una estructura existente.

Permite, además, a partir de una estructura a construir o mejorar y el tránsito solicitante analizar distintas alternativas estructurales de diseño o refuerzo planteando como variable el espesor y/o el módulo de la capa que se pretende ajustar, sea o no la de superficie, para lograr la vida útil de cada alternativa expresada en número de ejes equivalentes y años. Ref. [5]

Para que el diseño estructural de pavimentos efectuado a través de un programa de cálculo mecanicista sea correcto, es primordial la calidad y representatividad de los datos de ingreso o "Inputs". Es necesario contar con datos de muy buena calidad ya que, cuanto mejores sean éstos, mejor será el diseño proyectado.

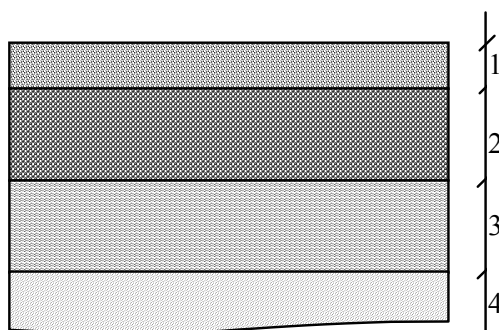
En este estudio se pone énfasis en el conocimiento de las características de los materiales que componen el paquete estructural desde el punto de vista de su comportamiento mecánico bajo cargas dinámicas. En otras palabras determinar módulos de elasticidad, coeficientes de Poisson, y criterios de falla de cada uno de los materiales intervinientes.

3 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES GRANULARES-VIALES EN LA VIDA DEL PAVIMENTO Y SU RELACIÓN CON LOS COSTOS

Para poder evaluar la influencia de considerar un comportamiento elástico-lineal, obtenido en forma indirecta a partir de correlaciones empíricas, o elástico-no lineal de los materiales granulares no ligados, se aplica el método de diseño BACKVID (versión 2009) al paquete estructural de un tramo actualmente en servicio que presentó fallas prematuras.

3.1 Datos generales

Para el análisis comparativo se consideró una estructura tipo como la que se presenta de manera esquemática en la Fig. 1.



- 1- Capa Concreto Asfáltico. $e = 0.10\text{m}$
- 2- Base: Estabilizado Granular. $e = 0.20\text{m}$
- 3- Subbase Granular. $e = 0.20\text{m}$
- 4- Subrasante Granular

Figura 1. Estructura tipo considerada

A los efectos de la valoración de la solicitud impuesta por el tránsito para el tramo en estudio, se ha procesado la información suministrada referente al número total de vehículos pasantes según el sentido de circulación desde mayo de 2003 a octubre de 2003 en las distintas categorías de peaje y los totales mensuales del mismo período. De estos valores resultan de aplicación para el diseño estructural de pavimentos, las Categorías de pago 2, 4, 5 y 6 que involucran a los distintos tipos de vehículos pesados. En particular, la categoría 6 debido a su escasa incidencia fue acumulada a la categoría 5 para la determinación del número N de ejes equivalentes en efecto destructivo. Se han adoptado los coeficientes de equivalencia en efecto destructivo para cada categoría, recomendados por los Ingenieros. F. Lilli y J. Lockhart, Ref. [2], que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Coeficientes de efecto destructivo según categoría

Categoría	Coeficiente de efecto destructivo
2	13.77
4	27.34
5	4.111

El tránsito en ambas direcciones presenta una gran similitud en cuanto a volumen y composición. Sin embargo para el cálculo, se ha utilizado la información correspondiente al carril descendente que se indica en la Tabla 2 que resulta levemente superior al carril ascendente.

Para los meses comprendidos entre mayo y octubre de 2003, el número de ejes equivalentes total resulta igual a 307510 ejes de 80 kN por lo que el número de ejes equivalentes en efecto destructivo de 80 kN inicial por carril y por año resulta 615000 ejes.

Se ha adoptado una tasa de crecimiento del 3% anual para el cálculo de la transformación del número de ejes admisibles. Ref. [6]

Tabla 2. Tránsito por categoría y número N de ejes equivalentes en efecto destructivo de 80kN resultante.

MES	TMD - Vía Descendente						N Total
	CATEGORÍA DE PEAJE						
	1	2	3	4	5	6	
05-03	41	1673	63	4	50	345	49120
06-03	20	1550	63	6	62	403	106527
07-03	6	1397	75	5	60	387	162249
08-03	8	1262	73	4	64	313	208990
09-03	29	1025	79	5	79	336	260053
10-03	6	1051	91	7	85	299	307510

3.2 Descripción de los materiales del tramo en estudio

Las principales características de los materiales componentes del tramo en estudio se describen a continuación.

3.2.1 Capa de rodadura

Características de la mezcla asfáltica CAC D12

Densidad: 2345 Kg/m³

Cemento Asfáltico: 4.52% en peso; 10.6% en volumen

Viscosidad: 1044 Pa.s (Viscosímetro Brookfield a 60 °C)

El módulo dinámico E_d se ha medido experimentalmente utilizando el ensayo de tracción indirecta (IDT) con cargas dinámicas y se describe mediante su curva maestra de comportamiento a través de la ecuación sigmoideal: Ref. [7], [8].

$$\text{Log } E_d = (\text{log } E_{\min}) + \frac{\text{log } E_{\max} - \text{log } E_{\min}}{1 + e^{\left(\beta + \text{log } f \cdot e^{\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{REF}} \right)} \cdot \delta \right)}} \quad (1)$$

Donde:

E_d : Módulo dinámico de la mezcla

E_{\max} : valor máximo de E_d

E_{\min} : Valor mínimo de E_d

β y δ : factores de forma

f : frecuencia de ensayo, Hz

k : constante

T : Temperatura de Ensayo en °K

T_{ref} : Temperatura de referencia en °K

Para la mezcla considerada, una vez efectuado el ensayo y procesados los datos, la ecuación resulta:

$$\text{Log } E_d = (\text{log } 102) + \frac{\text{log } 24770 - \text{log } 102}{1 + e^{\left(0.1328 + \text{log } f \cdot e^{\frac{19153}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{REF}} \right)} \cdot (-0.9313) \right)}} \quad (2)$$

3.2.2 Base estabilizada

La capa de base esta compuesta por material granular cuya granulometría se muestra en la Tabla 3

Tabla 3. Granulometría del material de base

Tamices	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
% pasa	99.1	98.6	86.6	58.8	50.6
Tamices	1/4	4	10	40	200
% pasa	46.0	41.7	31.1	20.7	9.8

Clasificación HRB (ASTM D3282/97): Suelo A-1- a

Ensayo de Penetración de Cono Dinámico liviano (DCP), DN = 7.3 mm/golpe, contenido de humedad (w) = 8.8%, Densidad seca (ρ_{seca}) = 1903 Kg/m³ (valores in situ), Ensayo de Valor Soporte Relativo (CBR) = 166 (sin embeber), 73 (embebido)

El Módulo resiliente (M_r) se ha medido experimentalmente utilizando el ensayo triaxial con cargas repetidas, Ref. [12], y determinado la ecuación constitutiva en MPa como:

$$M_r = A \cdot \theta^B \cdot \sigma_d^C \quad (3)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \sigma_d &= \sigma_1 - \sigma_3 && \text{Tensor desviador MPa} \\ \theta &= \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 && \text{1er invariante de tensiones MPa} \\ A, B, C &&& \text{constantes experimentales} \end{aligned}$$

Para este material y las condiciones de ensayo w = 8.63%, ρ_{seca} = 1875 Kg/m³ resulta la siguiente expresión:

$$M_r = 231 \cdot \theta^{0.61} \cdot \sigma_d^{-0.40} \quad (4)$$

3.2.3 Sub Base granular

El material componente corresponde a un material local de tipo calcáreo (denominado localmente como "broza"). Su granulometría se muestra en la Tabla 4

Tabla 4. Granulometría material sub base

Tamices	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
% pasa	99.3	94.4	93.4	91.5	87.8
Tamices	1/4	4	10	40	200
% pasa	82.7	79.0	64.5	36.8	19.6

Clasificación HRB (ASTM D3282/97): Suelo A-1-b

Ensayo DCP, DN = 4.9 mm/golpe, w = 24.50%, ρ_{seca} = 1549 Kg/m³ (valores in situ), CBR = 105 (sin embeber), 80 (embebido)

El Módulo Resiliente para las condiciones de ensayo w = 23.81%, ρ_{seca} = 1469 Kg/m³ resulta la siguiente ecuación constitutiva:

$$M_r = 69 \cdot \theta^{0.38} \cdot \sigma_d^{-0.48} \quad (5)$$

3.2.4 Subrasante

La subrasante está compuesta por arena silícea del Río Paraná. Sus características granulométricas se presentan en la Tabla 5

Tabla 5. Granulometría material subrasante

Tamices	¼	4	10	40	200
% pasa	100.0	100.0	99.69	93.39	8.42

Clasificación H.R.B: Suelo A3 (0)

Ensayo DCP, DN =2.4mm/golpe, w = 3.70%, $\rho_{seca} = 1970 \text{ Kg/m}^3$ (valores in situ), CBR: 49 (sin embeber)

El Módulo Resiliente para las condiciones de ensayo w = 6.20%, $\rho_{seca} = 1979 \text{ Kg/m}^3$ resulta la siguiente ecuación constitutiva Ref. [9], [10], [11], [12]:

$$M_r = 474 \cdot \theta^{0.53} \cdot \sigma_d^{-0.05} \quad (6)$$

3.3 Dimensionamiento de la estructura de pavimento del tramo mediante el programa BACKVID

Cómo se mencionó anteriormente, el programa de dimensionamiento estructural de pavimentos BACKVID requiere entre otros datos importantes de ingreso, el valor del módulo de cada uno de los materiales componentes de la estructura del camino. Este dato puede ser obtenido a través de correlaciones empíricas en base a características físicas de los mismos o de los resultados de otros ensayos rutinarios como por ejemplo el Valor Soporte Relativo. Pero estos valores de módulo serán sólo aproximados y su uso puede llevar a resultados inexactos.

A continuación se presenta un análisis de sensibilidad para dos formas diferentes de caracterización de los suelos en una misma estructura del camino. Las alternativas basan la obtención del valor del módulo resiliente, en forma empírica, para el primer caso, y en el segundo caso a través del uso de sus correspondientes ecuaciones constitutivas. Se evalúan entonces, para las alternativas, las consecuencias que trae aparejado en términos de vida útil, espesores y costos, ambas formas de caracterización.

Para el cálculo de espesores y vida de diseño, para las distintas alternativas, se establece una temperatura media anual ponderada de 30 °C, un eje de referencia de 80 KN y, como criterios de falla, un ahuellamiento de 12mm y/o el 30% de la superficie total fisurada.

3.3.1 Estimación de los módulos

Para la Alternativa N° 1 y para las capas no ligadas, se ha calculado el módulo de cada una de ellas utilizando la ecuación (7) en base al valor soporte relativo.

$$M_r = 18 \cdot CBR^{0.64} \quad (7)$$

Para la Alternativa N° 2 se determina el valor del módulo de las capas no ligadas mediante las ecuaciones constitutivas (4), (5) y (6) respectivamente Ref. [13], [14], [15].

En ambas alternativas se ha adoptado que la mezcla asfáltica tiene un módulo de deformación constante que para la temperatura considerada resulta igual a 2620 MPa.

3.3.2 Resultados obtenidos

En la Tabla 6 se presentan los valores de los módulos correspondientes a cada una de las capas en función de las alternativas de este análisis propuesto y para los espesores indicados en la Fig. 1

Tabla 6. Valores de Módulo (MPa) de cada una de las capas, Alternativas 1 y 2.

Alternativa	1	2
capa de rodamiento	2620	2620
base	463	164
subbase	353	126
subrasante	217	153

En la Fig. 2 y Fig. 3 se muestra la sensibilidad en la vida útil de la estructura en estudio en función del espesor de la capa asfáltica y para una variación posible del módulo dinámico de la misma entre 2000 y 4000 MPa, para ambas alternativas. Se destaca que los módulos correspondientes a las capas no ligadas, en la Alternativa 2, varían en función de las tensiones que llegan a la capa.

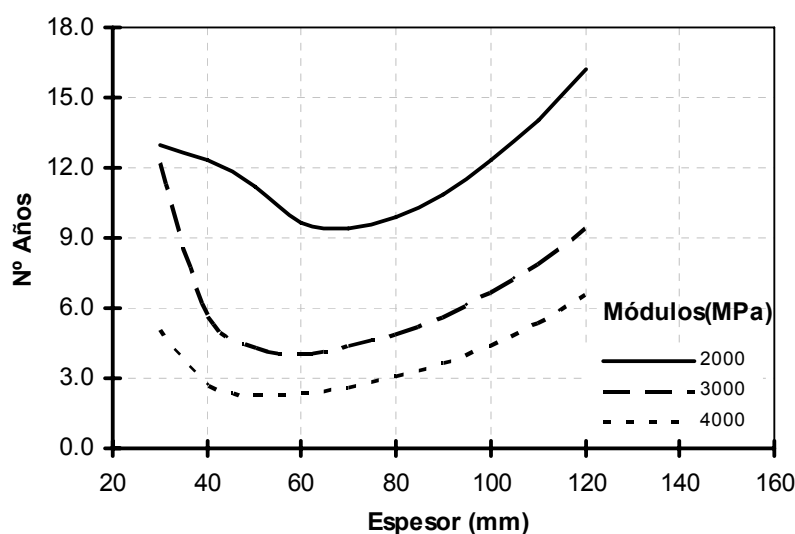


Figura 2. Alternativa N° 1

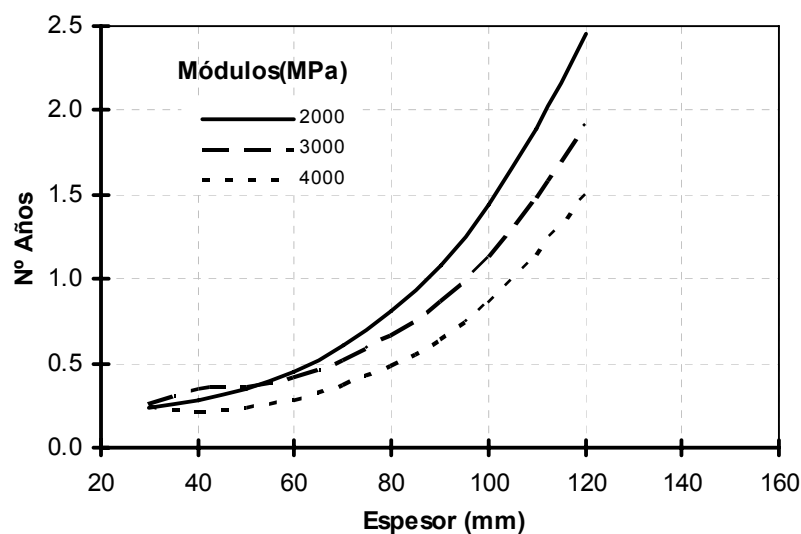


Figura 3. Alternativa N° 2

En la Tabla 7 se presenta, para el espesor de proyecto de la capa asfáltica de 100 mm y para un $E_d = 3000$ MPa, para considerar las dispersiones constructivas y estar del lado de la seguridad, un resumen con los valores de vida obtenidos para cada caso planteado y la causa origen de la falla.

Tabla 7. Resumen de resultados

Alternativa Propuesta	Vida de diseño	Causa de Falla
Alternativa N° 1	≈ 7 años	Fisuración de la capa asfáltica
Alternativa N° 2	≈ 1.2 años	Fisuración de la capa asfáltica

En la Fig. 4 se muestra una comparativa para los casos analizados de la vida de la estructura en función del espesor de la capa de mezcla asfáltica para un valor de Módulo de mezcla de 2620MPa.

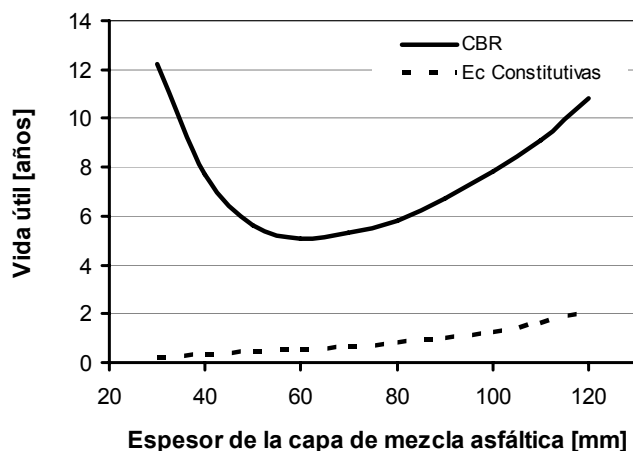


Figura 4. Vida de diseño en función del espesor de la capa asfáltica

Cabe señalar que lo observado en el tramo una vez habilitado al tránsito es la falla de la estructura al cabo del año de vida, comportamiento muy similar al estimado por la Alternativa N° 2, (caracterización de capas no ligadas mediante ecuaciones constitutivas).

Por lo tanto, puede decirse que plantear un diseño deficiente, no caracterizando correctamente sus materiales componentes, genera graves consecuencias, por un lado el costo que demanda la realización de un refuerzo a tan temprana edad y por otro el costo del usuario generado por los inconvenientes producidos en la construcción de dicho refuerzo.

3.4 Análisis de Diseño Estructural

A partir de lo expuesto anteriormente puede expresarse que, si en la fase de diseño de la estructura de pavimento se hubiera caracterizado correctamente a cada uno de los materiales componentes, se habría detectado a tiempo la falla prematura de la estructura. La misma podría haberse evitado sustituyendo el material de base por uno más adecuado debido al bajo módulo que presenta este estabilizado y la falta de escalonamiento modular en el diseño original. Una vez que se produce la falla, las posibles soluciones son o una reconstrucción total hasta la base incluida o mejorar las condiciones de servicio mediante la colocación de una capa de mezcla asfáltica de refuerzo.

A los fines de efectuar posteriormente un análisis económico comparativo, se proyecta, para una vida útil total de 7 años, dos alternativas más. La Alternativa N°3 plantea un correcto diseño de la estructura original sustituyendo el material de base por un estabilizado granular de mejor calidad caracterizado mediante la ecuación constitutiva expresada en (8).

$$M_r = 840 \cdot \theta^{0.66} \cdot \sigma_d^{-0.13} \quad (8)$$

La Alternativa N° 4 propone una capa de mezcla asfáltica de refuerzo aplicado al diseño empleado en la Alternativa N°2 al año de la liberación de la vía al tránsito.

En la Tabla 8 se presentan los valores de los módulos correspondientes a cada una de las capas, obtenidos luego del procesamiento, para estas nuevas alternativas.

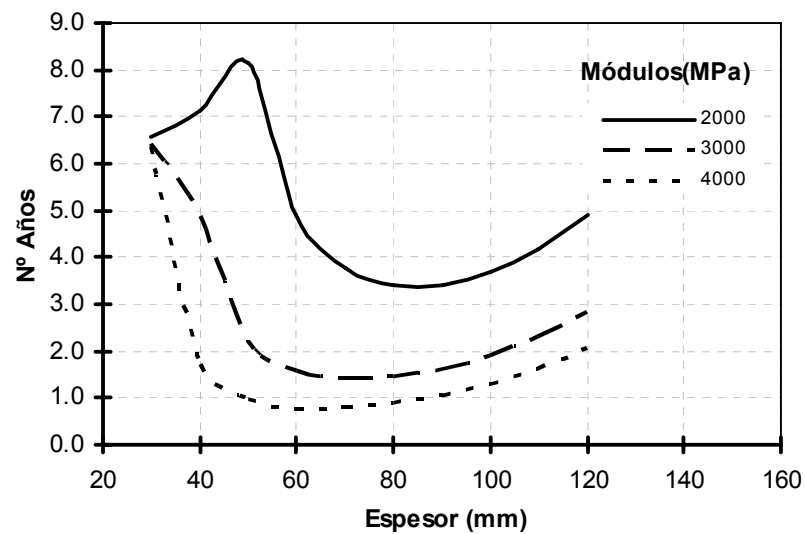
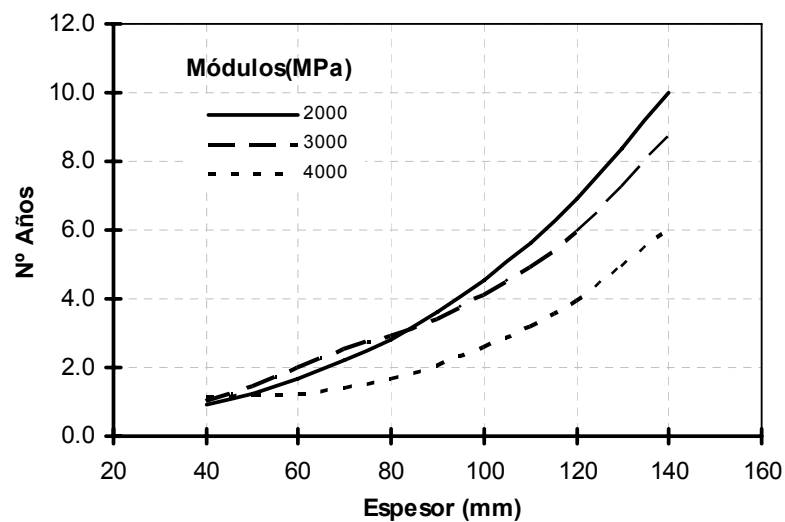
Además, del mismo modo que se procedió para las Alternativas 1 y 2, en la Fig. 5 y la Fig. 6 se evalúa la variación de la vida útil de la estructura en función del espesor de la capa asfáltica (nueva o refuerzo) para una variación del módulo de la misma entre los 2000 y 4000 MPa.

Tabla 8. Valores de Módulo en MPa de cada una de las capas

Alternativa Propuesta	3	4
capa de refuerzo	-	2620
capa de rodamiento	2620	500*
base	227**	151**
subbase	122**	129**
subrasante	152**	155**

* Para considerar la degradación de la capa de rodamiento se reduce el valor de módulo al que correspondería un grado de fisuración 4 (30% de fisuración total: en bloques > 50cm)

** Valor indicativo, los módulos son variables de acuerdo a su ecuación constitutiva

**Figura 5.** Alternativa N°3**Figura 6.** Alternativa N°4

A partir de dichas gráficas se deduce que para proyectar una estructura con una vida útil aproximada de 7 años, en el caso de la Alternativa N°3 se requiere un espesor de capa de mezcla asfáltica de 30 mm aproximadamente, mientras que para el refuerzo, se requiere un espesor de capa de 120 mm aproximadamente para alcanzar una vida de 6 años ya que se cuenta con 1 año de la estructura original.

4 COSTOS DE LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS

A partir de los resultados anteriores se realiza un análisis de costos para las alternativas planteadas, focalizando principalmente la variación de los mismos al considerar el espesor de la capa de rodamiento. Se destaca que la Alternativa N° 4 aumentaría su costo si se le agregan los costos emanados del usuario por los inconvenientes del corte de ruta durante la construcción de la capa de refuerzo. Si se considera a la Alternativa N°1 como base de referencia y empleando valores al año 2008, en la Tabla 9 se indican los costos relativos de las distintas alternativas en forma comparativa.

Tabla 9. Análisis comparativo de costos para las alternativas propuestas

Alternativa	Costo relativo en %
1 Diseño original	100%
3 Diseño correcto	53%
4 Diseño original + Refuerzo	200%

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de los resultados obtenidos para las cuatro alternativas planteadas en el estudio comparativo se desprende que:

- Es importante realizar una caracterización mecánica correcta de los materiales no ligados y los suelos de subrasante mediante sus ecuaciones constitutivas.
- El uso de relaciones empíricas para inferir el valor del Módulo resiliente puede llevar a diseños deficientes.
- El cálculo de la vida útil de la estructura es de aproximadamente un año cuando se emplean las ecuaciones constitutivas para las capas no ligadas (Alternativa N° 2), hecho que fue confirmado por el comportamiento en servicio.
- Los valores obtenidos por los métodos de correlación sobrevalúan en mayor o menor medida las condiciones reales, dando una vida en servicio de 7 años (Alternativa N° 1).
- En la Alternativa N° 3, con una base de mejor calidad, no sólo se incrementa la vida útil de la estructura toda, sino que se reduce considerablemente el espesor de mezcla asfáltica a 30 mm

- La solución obtenida permite, al reducirse el volumen de mezcla asfáltica a emplear, reemplazar el asfalto utilizado en su elaboración por un asfalto modificado, con todas las virtudes que este material brinda, sin una variación importante de los costos, si éstos se comparan con los de la construcción de la estructura proyectada empleando el material de base considerado en un primer momento.
- En el caso del refuerzo del pavimento existente caracterizado mediante las ecuaciones constitutivas (Alternativa N° 4), deberían sumarse 120 mm de espesor de capa asfáltica a los 100 mm iniciales para lograr una estructura con una vida de 7 años en total. De ello se desprende la importante variación en los costos considerando la diferencia en volumen de mezcla asfáltica, y la problemática que surge al momento de disminuir la capacidad de tránsito del camino debido a la necesidad de realizar los refuerzos pertinentes.

En definitiva, es importante destacar el impacto económico que puede generarse a partir de una incorrecta caracterización de los materiales componentes de la estructura, ya que, las diferencias encontradas en los espesores de capa asfáltica entre los distintos planteos, implican una reducción en los costos de la obra al 53% respecto del diseño original en forma directa y de manera indirecta en la durabilidad de la misma. También se destacan los espesores críticos de capas de mezclas asfálticas para las situaciones de falla que se producen en los menores períodos de tiempo y que en general rondan los 50 a 70 mm.

6 REFERENCIAS

- [1] Angelone, S., Martínez F. Aplicación de Modelos No Lineales de Comportamiento de Suelos y Materiales Granulares al Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles. 10° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Tomo II, página 1415. Madrid, España. 1999
- [2] Lilli, Lockhart, J. Ejes equivalentes para el diseño de Pavimentos Flexibles. 2a. Parte. 9° Congreso Ibero - Latinoamericano del Asfalto. Asunción del Paraguay. 1997
- [3] Giovanon, O., Pagola M., 2005. Modelos Obtenidos para el Cálculo de Pavimentos, 13° CILA, Costa Rica.
- [4] Giovanon, O. Un Modelo Racional de Comportamiento Estructural. Tesis de maestría en Ingeniería Vial. UNR. 2001
- [5] Giovanon, O., 2009. BACKVID '09 – IMAE.
- [6] Informes de auditoria del Laboratorio Vial IMAE. FCEIA. U.N.R. Rosario.
- [7] Martínez F., Angelone, S. Un Modelo Para La Descripción Del Módulo Dinámico De Mezclas Asfálticas. II Simposio Iberoamericano, II Simposio Ecuatoriano de Ingeniería de Pavimentos. Editado en disquete por Pontificia Univ. Católica del Ecuador y Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE. Quito, Ecuador. 2006
- [8] Martínez F., Angelone, S. Modelación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas. 14° CILA. La Habana, Cuba. 2007

- [9] Angelone, S., Martínez F., Tosticarelli J. Aplicación del Penetrómetro Dinámico de Cono en Obras Viales y Controles de Compactación. FCEIA-UNR. III Encuentro de Centros del Instituto Panamericano de Carreteras (IPC). San Pablo, Brasil. 1994
- [10] Angelone, S., Martínez F. Analysis of non-linear models describing the resilient behaviour for soils and unbound materials. International Symposium on Unbound Aggregates in roads UNBAR 5. Editorial A.A, Balkema, Róterdam, ISBN 90 5809 147 3, Pág. 257. Nottinham, England. 2000
- [11] Angelone, S., Martínez F. Aplicación de Modelos no Lineales de Comportamiento de Suelos Y Materiales Granulares al Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles. FCEIA-UNR. X Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Tomo II, pág 1415. Madrid, España. 1999.
- [12] AASHTO T 294-92; "Methods of Testing and Sampling: Standard Methods of Test for Resilient Modulus of Unbound Granular Base/subbase Materials and Subgrade Soils. SHRP Protocol P46".
- [13] Angelone, S., Martínez F., Galelli, D. Criterios de falla de suelos aplicados al diseño estructural de pavimentos flexibles. XI CILA. Lima, Perú. 2001.
- [14] Angelone, S., Martínez F. A Proposed Model Describing The Permanent Deformation Behaviour Of Subgrade Soils. International Symposium on Unbound Aggregates in roads UNBAR 6. Editorial Nottingham National Centre for Pavement of Engineering (NCEP). Nottingham, England. 2004
- [15] Angelone, S., Martínez F., Cauhapé Casaux, M., Ballestrini, G. Análisis de la deformación permanente de suelos granulares no ligados de subrasante. XV CILA. Lisboa, Portugal. , Nov 2009.