

Título trabajo: RETROAJUSTE MODULAR DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS - INFLUENCIA DE LA TECNICA DE AUSCULTACION

.....

.....

Autores: Ings. Oscar GIOVANON y Marta PAGOLA

Dirección: Berutti y Riobamba - 2000 Rosario.....

Teléfono: 54-341-4808540 int. 36 **Fax:** 54-341-4808540.....

Entidad u Organismo al que pertenece: Laboratorio Vial - Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE) Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura - Universidad Nacional de Rosario

RESUMEN:

El retroajuste modular de estructuras de pavimentos a partir de la medición de deformabilidad realizada en la superficie del mismo permite lograr una mayor confiabilidad en el modelo planteado de la estructura existente y por tanto en la prognosis del comportamiento estructural obtenido. Esto es válido tanto si se aplica una metodología de diseño mecanicista como si se utiliza el retroajuste para la valoración de datos a introducir en modelos de deterioro.

Las distintas técnicas de medición de deflexiones: Benkelman, Lacroix y FWD difieren en su metodología y condiciones de aplicación de cargas. Esto origina que los módulos obtenidos difieran en correspondencia con estas diferencias.

En el presente artículo se valoran estas diferencias y como se modifican, teóricamente, las estimaciones de las vidas útiles realizadas en base a dichos módulos.

Adicionalmente se plantean regresiones de manera de obtener la deflexión máxima Benkelman o Lacroix a partir de las mediciones de deformabilidad hechas con un FWD.

1. RETROAJUSTE MODULAR (Backcalculation)

1.1. Introducción

La existencia de metodologías de retroajuste se justifica en la necesidad del conocimiento de los módulos de trabajo de las distintas capas integrantes de un pavimento existente. Este requerimiento se presenta tanto en el proyecto de mejoras como en el seguimiento de tramos testigo que avalan los métodos de diseño y/u optimizan las técnicas constructivas.

Los softwares comerciales se basan en la medición de deformadas en superficie y en forma absoluta. Estos programas plantean el cálculo de los módulos de las distintas capas de la estructura a partir del ajuste del cuenco de la deformada medida in-situ con el calculado por ellos, en un proceso iterativo.

En la medida que se ausculten múltiples puntos de la deformada en superficie crece la posibilidad de ajuste y disminuye la importancia puntual de errores de medición. En general se aplican criterios de aproximación debido a la no existencia de una solución que logre la exacta coincidencia entre las mediciones reales y teóricas, ya que es mayor el número de mediciones que el de incógnitas (módulos que se desea ajustar).

El criterio de aproximación utilizado es el de minimizar la suma de los errores cuadráticos que aumenta la coincidencia en la zona de máxima deformación, que es también la zona en la cual se producen los esfuerzos críticos que determinarán el comportamiento estructural del camino.

1.2. Software Utilizado

Para el presente estudio se utilizó un software propio, desarrollado en el Laboratorio Vial del IMAE (BACKMOD)(1)(2), este se ejecuta en una computadora personal y permite considerar distintas formas de medición de la deformada en superficie, valorada en forma absoluta (por medio de un deflectógrafo por impacto FWD(3)) o a través de una cierta base de referencia como son la regla Benkelman y el deflectógrafo Lacroix(4); pudiendo esquematizarse en el programa las características de carga y dimensiones de los distintos sistemas de medición.

Como posibilidades más relevantes del software BACKMOD podemos citar que:

Permite la simulación de cuatro técnicas de mediciones diferentes:

- Deflectógrafo Lacroix
- Regla Benkelman simple
- Regla Benkelman doble
- Mediciones absolutas de la deformada

En la simulación de las cuatro técnicas la geometría de los equipos de medición y los valores de las cargas aplicadas se sugieren en su valor habitual pero pueden ser modificados para ser adaptados a un equipo especial o mediciones particulares realizadas exprofeso con diferentes valores de carga.

Otra posibilidad importante es la que se brinda respecto a la definición del tipo de capa, que determina los criterios a considerar por el programa en el proceso de ajuste de los módulos, cada capa puede definirse como:

- 1 el módulo constituye un DATO
- 2 se declara la ECUACION CONSTITUTIVA
- 3 el módulo constituye la INCOGNITA
- 4 aplica escalonamiento según BARKER para bases
- 5 aplica escalonamiento según BARKER para sub-bases
- 6 se indica un FACTOR de escalonamiento modular

La capa tipo 1 es aquella cuyo módulo está previamente definido en un valor determinado, presentando por lo tanto un comportamiento elástico lineal.

Si se desea considerar la ecuación constitutiva del material, que vincula su módulo de trabajo con el estado tensional, se declarará entonces como tipo 2 y se suministrarán los coeficientes A, B y C de dicha ecuación (5)(6).

$$M_r = A \theta^B \sigma d^C$$

A, B, C son constantes para cada material y condición de densidad y humedad.

θ primer invariante de tensiones o suma de tensiones principales
 σd tensor desviador pulsante

La definición como tipo 3 corresponde cuando el módulo o ecuación constitutiva de esta capa será ajustado en el proceso de convergencia entre los valores medidos y calculados. Si se declaran los coeficientes de la ecuación constitutiva y la capa como tipo 3 el programa interpreta que se pretende ajustar el coeficiente A de dicha ecuación adoptando como válidos los valores declarados de los coeficientes B y C.

La definición como tipo 4 y 5 corresponde a adoptar las fórmulas de BARKER correspondiente a Bases y Sub-bases respectivamente y plantear el escalonamiento modular con la capa inferior que brindan dichas fórmulas, y que corresponden a los valores habituales cuando se plantea un adecuado incremento en la calidad de los materiales hacia la superficie.

Declarar la capa como tipo 6 permite la adopción de un valor para el escalonamiento con la capa inferior. Esta es apta para la utilización de los resultados del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP)(7). El DCP es particularmente apto para la detección de capas deficientes dentro de la estructura como así también de los espesores de las mismas.

2. VARIABILIDAD DE LOS MODULOS DE TRABAJO

2.1. Carga Aplicada

Las técnicas de auscultación de la deformada en superficie utilizadas en nuestro medio difieren tanto en el valor y geometría de la carga aplicada como así también en la metodología y base de referencia utilizada para la medición de las deformaciones, diferenciándose además del eje de referencia utilizado en el análisis estructural (Tabla 1).

Técnica	Carga KN	Presión kg/cm ²	Impronta	Frecuencia	Base de referencia	Temperatura de referencia
Benkelman	80 (eje)	4,5	rueda dual	casi estática	patas de la regla	20 °C
Lacroix	104 (eje)	8	rueda dual	3 Km/h	trípode (trineo)	----
FWD	variable	variable	circular (única)	tránsito	absoluta (inercial)	----
Eje de referencia	80 (eje)	5,9	rueda dual	tránsito	-----	WMAAT

Tabla 1. Principales diferencias entre técnicas de auscultación y el eje de referencia de 80 KN

Es lógico entonces esperar diferencias en los módulos de trabajo de los distintos materiales integrantes de la estructura que se está auscultando. Estas diferencias se ponen de manifiesto en los módulos obtenidos en el proceso de retroajuste que en general se realiza con módulos constantes y no con sus ecuaciones constitutivas.

2.2. Materiales Asfálticos

Como es sabido la frecuencia de aplicación de las cargas y la temperatura condicionan los módulos de trabajo de los materiales asfálticos (8)(9), resultando por lo tanto diferentes según la técnica de auscultación. Si comparamos, a modo de ejemplo, los módulos de un concreto asfáltico convencional, los mismos serían los brindados en la Tabla 2 donde se considera para la condición Benkelman una temperatura de 20°C y para las otras dos una temperatura de 27°C, por ser esto más habitual ya que no existe una temperatura de referencia; la frecuencia considerada se corresponde con el tipo de sollicitación asociado a cada caso.

	Técnica de Auscultación			eje de referencia
	Benkelman	Lacroix	FWD	
Módulo (kg/cm ²)	6600	10000	22000	22000

Tabla 2. Módulos de un Concreto Asfáltico convencional

2.3. Materiales No Ligados

Los materiales no ligados por su parte poseen un comportamiento dependiente del nivel de sollicitaciones, y debido a las distintas cargas actuantes y las diferencias en los módulos de los materiales asfálticos, tampoco tendrán idénticos valores modulares en las distintas condiciones de trabajo.

Las capas granulares (friccionales) tienden a brindar mayores módulos para mayores cargas aplicadas, mientras que las capas no ligadas compuestas por suelos finos poseen en general la tendencia contraria. La importancia de estas tendencias es función de la ecuación constitutiva de cada material, y además del espesor asfáltico y la frecuencia de auscultación.

En la Figura 1 se ponen de manifiesto estas tendencias para un ejemplo estructural arbitrario, en la misma se indican:

- la estructura adoptada para el ejemplo.
- las rigideces de las distintas capas; la ecuación constitutiva del estabilizado granular fue obtenida de las citadas por la guía AASHTO 93 (10), y las restantes de materiales ensayados en nuestro laboratorio.
- las gráficas del módulo de trabajo en función de la profundidad bajo la carga, para las distintas técnicas de auscultación y el eje de referencia. En el caso del FWD se aplicó una carga de 5000 kg en un plato de 15 cm de radio.

Las diferencias observadas en los módulos de las capas no ligadas entre las distintas técnicas de auscultación no supera el 20% en los distintos casos evaluados. Estos máximos podrían aumentar si se consideraran suelos aún más sensibles a los niveles de sollicitaciones aplicadas, que son referenciados en la bibliografía internacional pero aún no fueron ensayados en nuestro país.

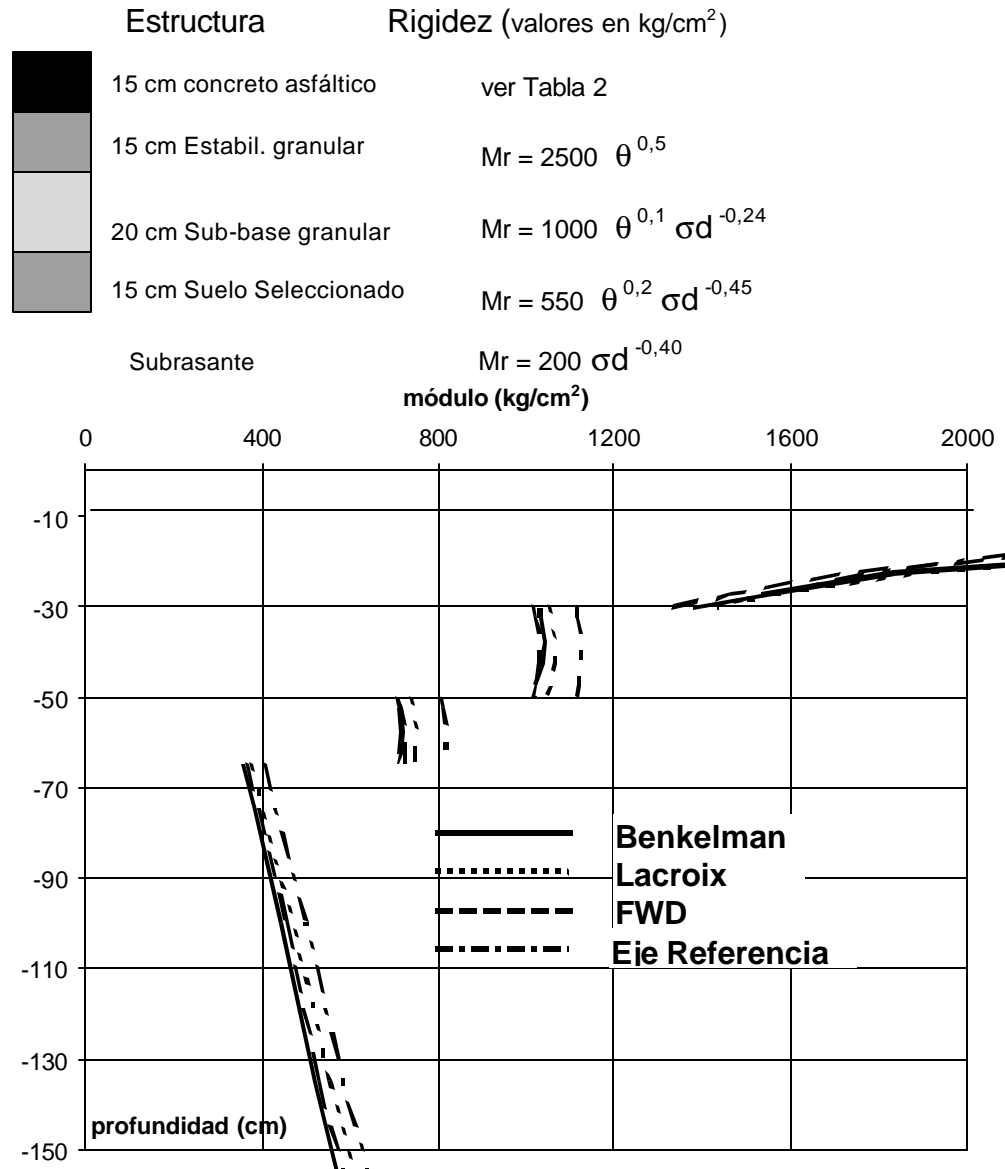


Figura 1. Módulos en función de la profundidad para las distintas metodologías de auscultación

2.4. Modelización para el Proyecto de Mejoras

Si en cambio se analiza el caso de modelización para el proyecto de una mejora surgen otras diferencias en los módulos de trabajo originadas en este caso por la presencia de una nueva capa. Estas diferencias pueden ser más significativas que las anteriores para las capas no ligadas; en el ejemplo de la Figura 2 se indican los módulos de trabajo bajo una de las ruedas para la acción de un eje de diseño de 80 KN para diferentes espesores de la capa asfáltica a colocar.

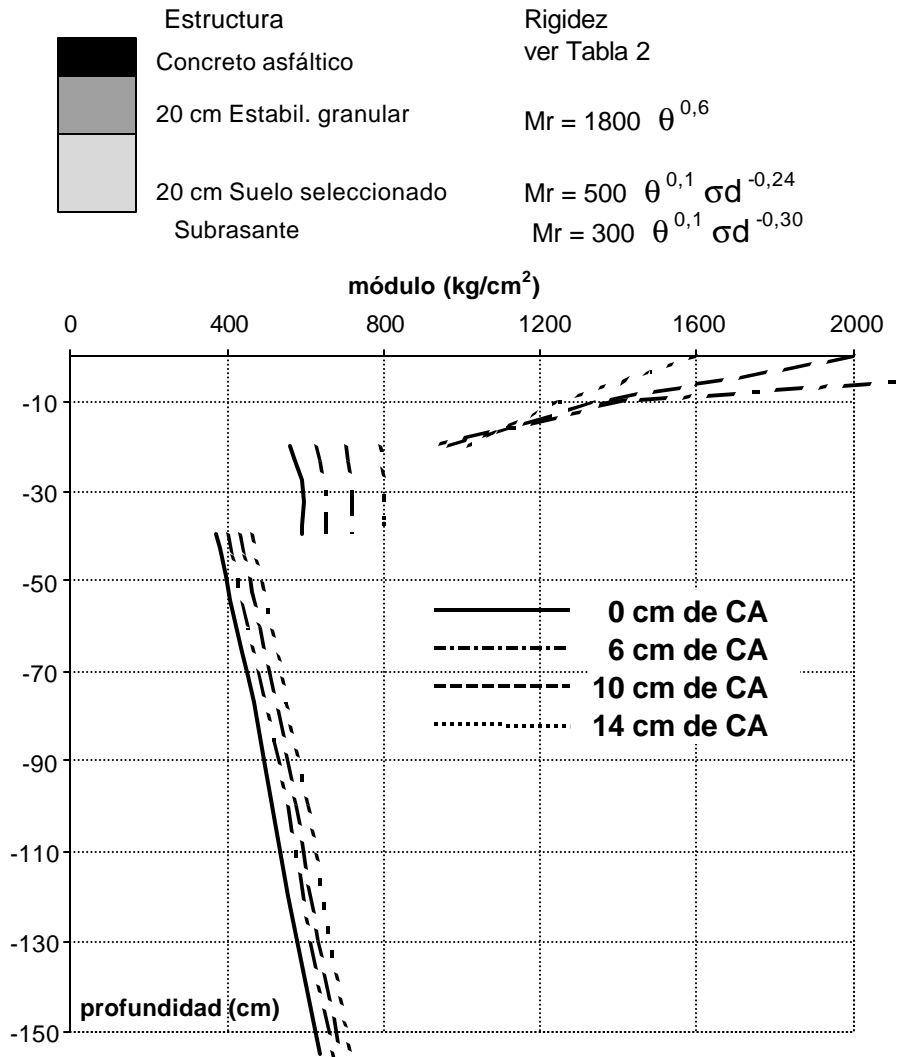


Figura 2. Módulos de trabajo en función del espesor de CA y la profundidad para las capas no ligadas

3. METODOLOGIA DE ANALISIS UTILIZADA

La metodología de análisis utilizada para el desarrollo de los temas a tratar en los capítulos siguientes puede esquematizarse en los siguientes puntos:

- Adoptar un conjunto de estructuras, caracterizando cada una de ellas por los espesores y ecuaciones constitutivas de cada una de sus capas.
- Realizar la simulación de las diferentes técnicas de auscultación, lo que permite predecir las deformaciones que se obtendrían con cada una de ellas. Proceso validado en trabajos reales de medición en campo.

- Los valores de las mediciones de deformada así obtenidos permiten la realización del retroajuste modular utilizando distintas hipótesis que se describen en cada caso, en general se utiliza la adopción de módulos constantes para cada capa.
- A partir de los módulos del retroajuste se obtiene un comportamiento estructural para cada técnica de auscultación (prognosis de la vida útil para cada criterio de falla) que son comparados entre sí y/o con los obtenidos de aplicar el eje de referencia sobre el modelo no lineal.

Esta metodología de análisis se esquematiza en la Figura 3.

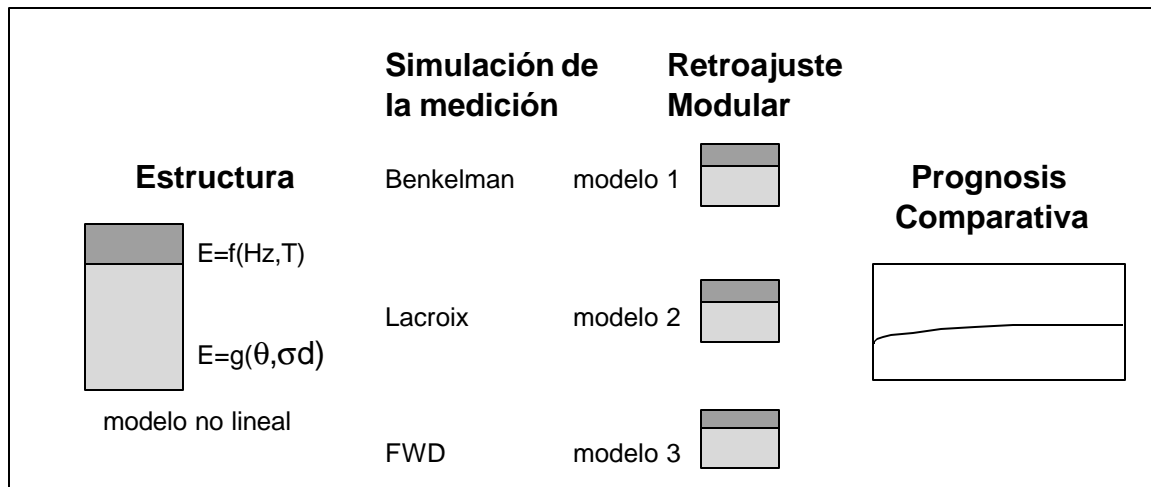


Figura 3. Esquema de la metodología de análisis

4. MODULOS DEL RETROAJUSTE vs. TECNICA DE AUSCULTACION

Como se indicó en el capítulo 2 los módulos de trabajo difieren para las distintas técnicas de auscultación, pero en general es de mayor importancia la indeterminación originada por el menor número de mediciones para Benkelman o Lacroix cuando estas no son adecuadamente complementadas con información de ensayos (como ser el DCP).

En el caso de la Figura 4 se indica:

- la estructura adoptada para el ejemplo.
- las rigideces de las distintas capas (las ecuaciones constitutivas).

- las gráficas del módulo de trabajo en función de la profundidad bajo la carga, para las distintas técnicas de auscultación.
- con línea de trazos los módulos de trabajo, obtenidos para los materiales no ligados, a partir de la estructura y ecuaciones constitutivas indicadas en la misma figura y cada técnica de auscultación (modelo no lineal).
- con línea continua y constante para cada capa, los módulos obtenidos del retroajuste según las diferentes técnicas de auscultación a partir de las deflexiones teóricas obtenidas en cada caso (retroajuste lineal).

En las **metodologías de retroajuste para Benkelman y Lacroix** se pone de manifiesto la necesidad de realizar hipótesis de escalonamiento modular, debido al menor número de datos. Para las distintas hipótesis de escalonamiento se obtuvo un entorno de trabajo que satisface las condiciones de deformabilidad de superficie, manteniendo el conjunto de las variables dentro de valores razonables.

En las posibles estructuras que verifican el retroajuste, los valores de las peores subrasantes se corresponden con los de las mejores bases de manera de mantener los valores de deformabilidad de la estructura en superficie. Es necesario aclarar aquí que en teoría podrían utilizarse un número mayor de mediciones de deformadas de superficie y así disminuir estos rangos de indefinición, lo que en el deflectógrafo Lacroix no implicaría un mayor tiempo de medición sino solo una adaptación del software utilizado.

Para la **metodología con FWD** se utilizó una carga de 5000 kg. y dos modelos estructurales diferentes, uno de ellos divide la subrasante en profundidad mientras que el otro no.

Con respecto a la estimación de los valores modulares del retroajuste para la subrasante, las técnicas Benkelman y Lacroix brindan un mayor peso a los valores próximos a la superficie ya que la existencia de un sistema de referencia dentro del cuenco plantea una mayor independencia de las capas profundas. En cambio la auscultación con FWD es influenciada por la rigidez de las capas profundas; circunstancia que si no es tenida en cuenta en el modelo puede provocar la sobrevaloración de la subrasante en los puntos de máxima sollicitación (como indica la guía AASHTO 1993 que recomienda reducir los módulos obtenidos del retroajuste con FWD).

En nuestra opinión consideramos más apropiado utilizar un modelo en el que se ponga de manifiesto esta variación en profundidad, aún cuando no exista una capa de material diferente, y obtener así valores a los que no sea necesario reducir (ver Figura 4 modelos con FWD). Esta corrección es función de la variación de las capas en profundidad y fundamentalmente de la ecuación constitutiva de la subrasante.

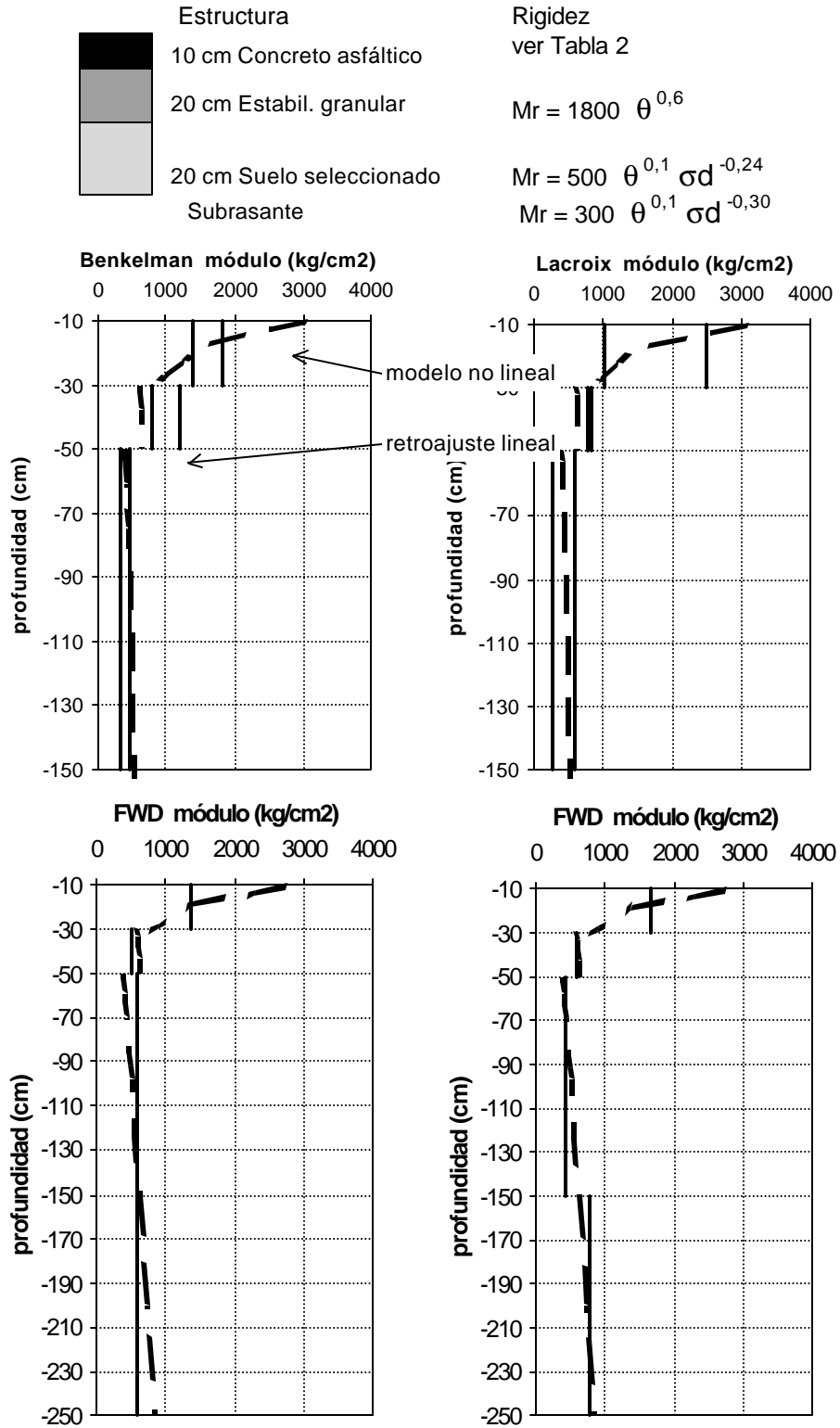


Figura 4. Ejemplo de diferencias en módulos obtenidos del retroajuste

Finalmente **lo verdaderamente importante es** obtener rigideces que se correspondan con la condición de trabajo del material en servicio, y esta dependerá en cada caso si se está evaluando la estructura en su condición final o en una condición de servicio particular, de los espesores de materiales que se ejecuten y/o frecen... y, **como estas diferencias condicionarán los resultados de la prognosis**, análisis que se comentará en el capítulo 5.

5. INFLUENCIA EN LA PROGNOSIS DEL COMPORTAMIENTO

5.1. Introducción

En este capítulo se comentan los resultados que se obtienen en la prognosis del comportamiento de modelos lineales obtenidos de retroajuste comparados con el comportamiento del modelo no lineal siendo los modelos lineales obtenidos en base a la simulación de las mediciones con modelos no lineales (declarando las ecuaciones constitutivas para cada capa) de distintos casos estructurales como se comentó en el capítulo 3.

Es necesario diferenciar el caso en que se este obteniendo el modelo estructural para predecir la vida útil hasta la próxima acción de aquel en el que el objetivo es el dimensionamiento de una mejora.

5.2. Auscultación en Estado de Servicio

Los distintos modelos estructurales que satisfacen la condición de deformabilidad de superficie (ver capítulo 4) originan distintas vidas útiles de la estructura, como puede observarse en la Figura 5 para un determinado espesor asfáltico.

Generalizando el análisis planteado en el ejemplo de la Figura 4 para distintos espesores de la carpeta asfáltica y continuando con el planteo realizado obtenemos la vida útil de la estructura en base a una metodología de diseño racional. En la Figura 5 se grafica en función del espesor de la capa asfáltica existente el cociente entre las vidas útiles determinadas para los modelos obtenidos por retroajuste y para los modelos no lineales.

Se pone de manifiesto aquí en las metodologías Benkelman y Lacroix el rango de indeterminación en los módulos de retroajuste, anteriormente comentado, en un entorno de vidas útiles. La existencia de la capa asfáltica condiciona el radio de curvatura y por lo tanto reduce el potencial de ajuste modular aumentando finalmente el rango de la indeterminación cuando solo se cuenta con dos valores de deformabilidad de superficie.

A partir de la medición con un FWD se obtiene una satisfactoria cercanía al valor unitario, aproximación que podría ser lograda a partir de los otros métodos de auscultación si se complementa la medición de deformabilidad con adecuados ensayos sobre los materiales constituyentes de la estructura.

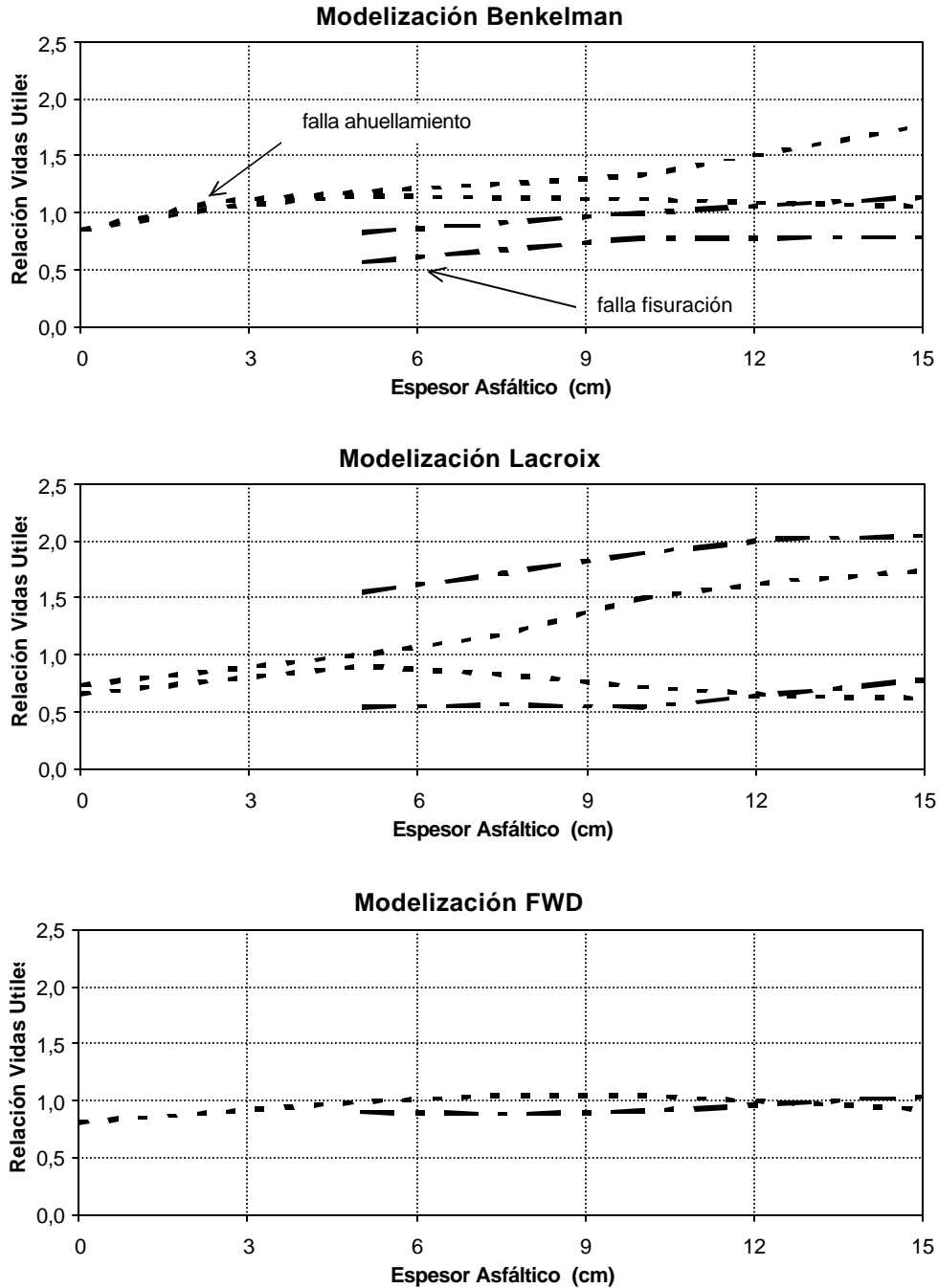


Figura 5. Comparación de las prognosis de vidas útiles

5.3. Auscultación para Diseño de la Mejora

Dentro de este caso subsisten los rangos planteados en el punto anterior pero estos se desplazan de acuerdo a las diferencias modulares comentadas en el punto 2.4 que afectan independientemente de la técnica de medición, si no se considera no linealidad en el modelo del retroajuste.

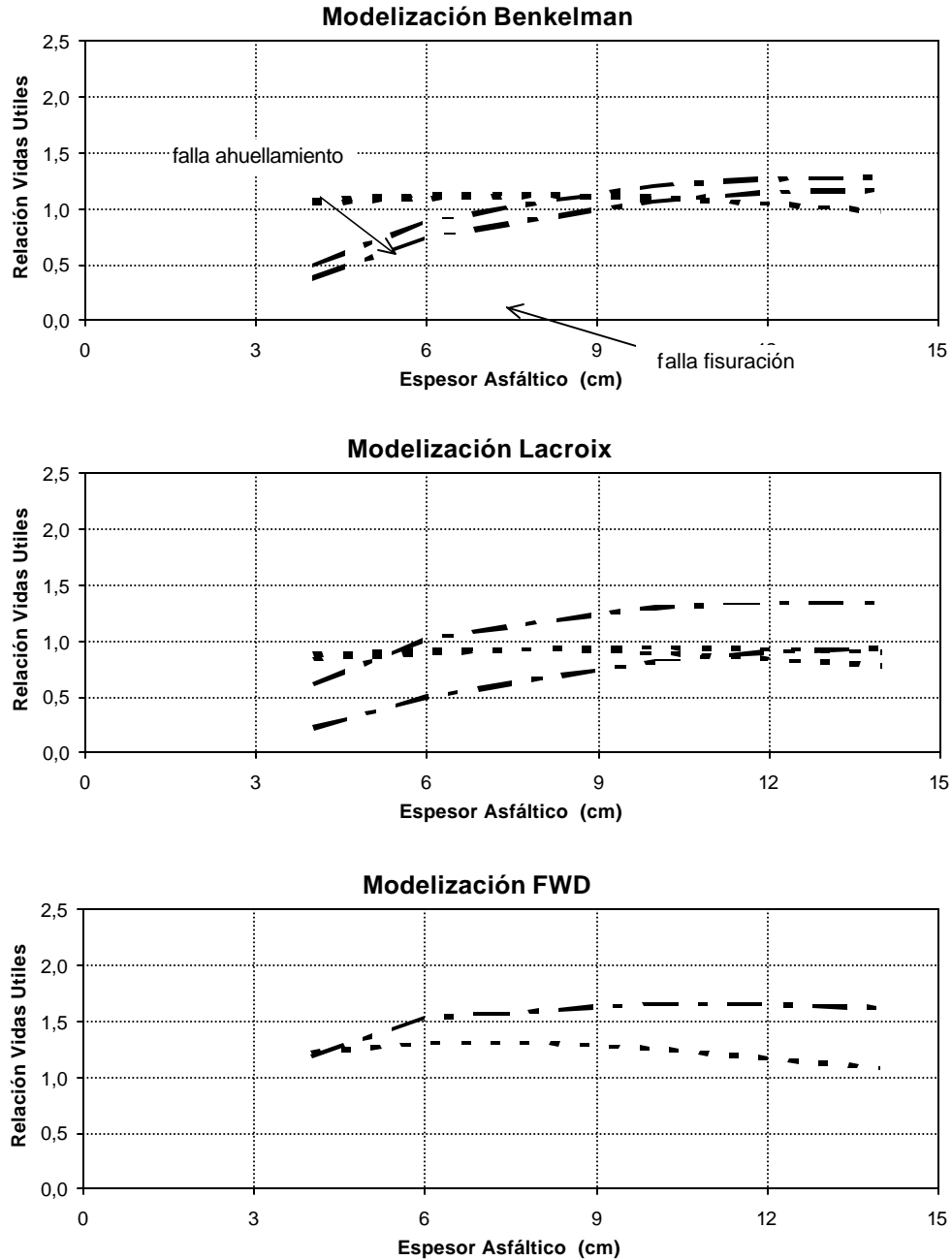


Figura 6. Comparación de las prognosis de vidas útiles, partiendo de la auscultación sobre una estructura granular

Si hay capas ligadas en la estructura existente, la vida en fatiga de la futura capa de refuerzo resulta condicionada principalmente por el módulo actual de la capa de rodamiento, que en general se adoptará dependiendo del estado de fisuras existente y de las acciones tendientes a demorar el reflejo de fisuras en superficie.

Si partimos de la estructura adoptada para desarrollar el ejemplo pero sin capa asfáltica obtenemos la relación vida útil sobre vida del modelo lineal graficada en la Figura 6 en función del espesor de la futura capa asfáltica.

6. CORRELACION ENTRE LAS DISTINTAS TECNICAS DE AUSCULTACION

6.1. Necesidad de la Correlación

La necesidad de determinar la correlación entre FWD-Benkelman y FWD-Lacroix está fundamentada en la experiencia adquirida en nuestro país en el uso de la Regla Benkelman doble y del deflectógrafo Lacroix en la evaluación estructural de pavimentos.

Numerosas diferencias existen entre los ensayos (marcadas en el capítulo 2), y la correlación entre las deformaciones por ellos valoradas depende del tipo de estructura auscultada, particularmente de la presencia de capas viscoelásticas y su importancia relativa dentro de la estructura, ya sea a nivel módulo o espesor. Esto se debe a que la rigidez de un material bituminoso depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de la carga, siendo este último muy diferente entre las distintas técnicas de auscultación. Además, como ya se indicó, las rigideces de las capas profundas condicionan en mayor grado las deformaciones medidas con equipos FWD.

En este trabajo se reemplazan las mediciones de campo por las simulaciones efectuadas con el programa BACKMOD. Esto es posible debido a validaciones efectuadas previamente, que permiten utilizar a este programa como simulador de las mediciones y así obtener las correlaciones mencionadas.

Se analizaron diferentes estructuras de pavimento desde rígidas hasta íntegramente granulares, pasando por estructuras asfálticas de diferentes espesores asfálticos, donde para cada una se planteó una variabilidad en sus características estructurales. Todos los datos fueron inicialmente volcados a un solo análisis, de esta manera se efectuó una correlación general para cualquier tipo de pavimento.

Con respecto a la temperatura se adoptó 20 °C para Benkelman y Lacroix mientras que para el FWD se consideró 27 °C, más próximo a las temperaturas de trabajo de la mezcla asfáltica.

6.2. Análisis de la Correlación

El medir las deformaciones por medio de sensores tipo sismógrafos permite, en los FWD, la valoración total de la deformada y no respecto a puntos situados en general dentro del mismo cuenco, arribándose por esta causa a mayores deformaciones, y además estos sensores son sensibles a capas de mayor profundidad. Esta circunstancia plantea, en realidad, un aumento de la dispersión de los resultados cuando se pretende relacionar solo las deformaciones máximas de cada sistema de medición. Esto puede observarse en las Figura 7 y 8 que presentan las deflexiones máximas Benkelman vs. deflexiones máximas FWD y las máximas Lacroix vs. máximas FWD respectivamente.

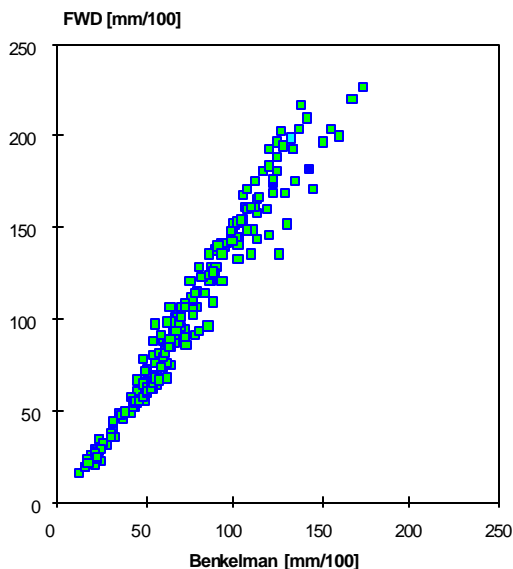


Figura 7. Correlación Benkelman-FWD

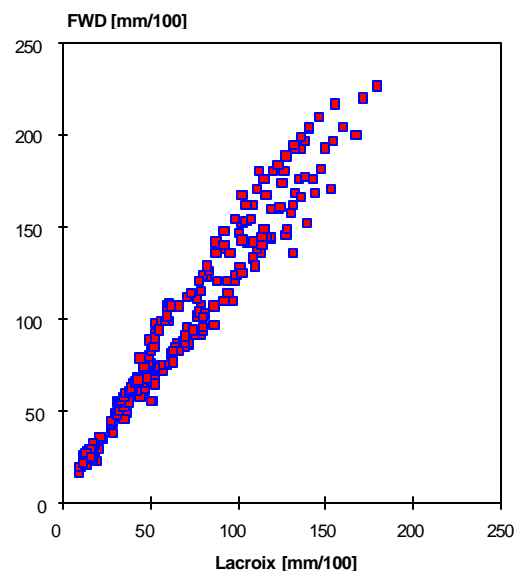


Figura 8. Correlación Lacroix-FWD

Podríamos plantear a partir de estas gráficas, por ejemplo, que un valor de deflexión FWD del orden de 100 mm/100 se corresponde con valores Benkelman entre 50 y 90 mm/100. Recuérdese que este estudio es teórico y por lo tanto no están valoradas las dispersiones por repetibilidad de las mediciones, que en la práctica aumentarían aun más estos rangos.

Entre otras circunstancias estos rangos son motivados porque en la deflexión máxima medida por un FWD importan capas de mayor profundidad que las evaluadas por las otras metodologías (aspecto que potencia el uso de este equipo en Aeropuertos).

Debido a lo señalado en el párrafo anterior se realizó un análisis de regresión para obtener la deflexión Benkelman o Lacroix a partir múltiples valores de deflexiones obtenidos por un FWD, utilizándose en el centro de la carga, a 30 cm y a 180 cm de la misma. Este criterio se basa en que los dos primeros valores de

deflexión tienen en cuenta la respuesta del conjunto estructural y el tercer valor tiene en cuenta el comportamiento de las capas más profundas.

En la Tabla 3 se muestran tanto los resultados de la regresión entre los valores máximos de las deformaciones como los obtenidos en la regresión a partir de múltiples deformaciones del FWD, en ella se pone además de manifiesto la reducción lograda en los rangos.

Relación	Ecuación mm/100	Rango (4σ) mm/100	Ecuación mm/100	Rango (4σ) mm/100
Benkelman=f(FWD)	$0,72 D_0$	45	$0,22 D_0 + 0,85 D_1 - 1,0 D_6 + 8$	20
Lacroix = g(FWD)	$0,79 D_0 - 6$	50	$0,25 D_0 + 1,12 D_1 - 1,9 D_6 - 1$	15

Tabla 3. Regresiones entre deflexiones

En la Figura 9 se representan las deflexiones máximas Benkelman vs. deflexiones Benkelman obtenidas como combinación lineal de los tres valores de deflexiones FWD, y en la Figura 10 la relación para Lacroix. Como se observa las mismas, los puntos no presentan la dispersión de la Figura 7.

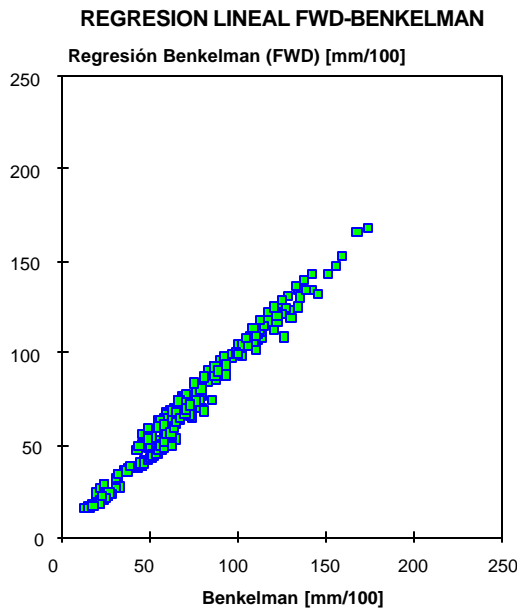


Figura 9. Relación Benkelman(FWD) vs. Benkelman

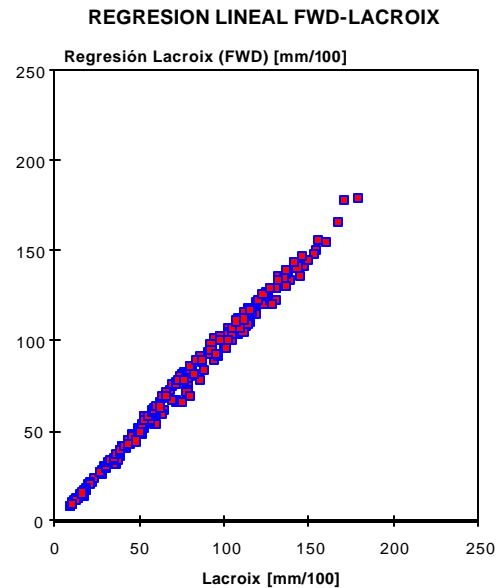


Figura 10. Relación Lacroix(FWD) vs. Lacroix

Concluimos por lo tanto que es posible obtener una aproximación de las mediciones de deformabilidad Benkelman o Lacroix a partir de la medición con un FWD, y que considerando la combinación lineal de tres valores de deflexión FWD se obtienen mejores aproximaciones que con una correlación directa.

7. CONCLUSIONES

La auscultación con FWD es influenciada por la rigidez de las capas profundas; circunstancia que si no es tenida en cuenta en el modelo utilizado en el retroajuste puede provocar la sobrevaloración de la subrasante.

En las auscultaciones con FWD es de mayor importancia la mejora lograda, con respecto a las técnicas de auscultación convencionales, al aumentar el número de sensores que por la similitud de la sollicitación con el tránsito, circunstancia que resulta también en un hecho deseable.

La influencia de la no linealidad de los materiales no ligados es considerable cuando se plantea la realización de acciones de importancia. Por ejemplo se sobrevalora la vida por fatiga cuando se realiza la primer capa con materiales ligados sobre una estructura granular.

En el caso del FWD se aplicó una carga de 5000 kg en un plato de 15 cm de radio, por ser lo usual, para poner de manifiesto las sollicitaciones inducidas por las cargas máximas (eje 10000 kg), pero para aproximar las condiciones de diseño sería deseable utilizar la misma carga del semieje del eje de referencia.

En el caso de pavimentos rígidos la técnica más apta para su auscultación es por medio de un FWD, ya que resulta ser la única en la que se realiza la medición de la deformada en forma absoluta y no dentro del cuenco de la deformada.

Es posible obtener una aproximación de las mediciones de deformabilidad Benkelman o Lacroix a partir de la medición con un FWD, considerando la combinación lineal de tres valores de deflexión FWD se obtienen mejores aproximaciones que con una correlación directa.

8. BIBLIOGRAFIA

1. "Ajuste de modelos estructurales de pavimentos." Giovanon Oscar, Pagola Marta. VI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Tomo II Trabajo T3-25.
2. "El programa Backmod para el cálculo de los módulos estructurales a partir de mediciones de la deformación en superficie." Giovanon Oscar, Pagola Marta. XVIII Reunión Anual de la Comisión Permanente del Asfalto. Pág. 256.
3. "Aplicación de deflectógrafos a impacto (FWD) en Argentina." Tosticarelli Jorge, Giovanon Oscar. VIII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Tomo III Trabajo 8-02.
4. "Primeras experiencias de utilización de Deflectógrafos Lacroix en Argentina" Tagle Alejandro, Tosticarelli Jorge y Petroni Eberto, Primer Congreso Latinoamericano del Asfalto en Río de

Janeiro (Brasil). Bulletin de Liaison des Laboratoires de Ponts et Chaussées n.121 setiembre - octubre de 1983.

5. "Módulo resiliente de suelos y materiales no tratados. Su aplicación al diseño estructural de pavimentos en Argentina." Tosticarelli Jorge, Martínez Fernando, Angelone Silvia. IV Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Tomo I Trabajo 13.
6. "Módulo resiliente de suelos y materiales granulares no tratados. Segunda parte." Martínez Fernando, Angelone Silvia. XXV Reunión Anual de la Comisión Permanente del Asfalto. Pág. 221.
7. "Aplicación del Penetrómetro dinámico de cono en obras viales y controles de compactación." Angelone Silvia, Martínez Fernando. Tercer Encuentro de Centros del Instituto Panamericano de Carreteras (IPC).
8. "Caracterización reológica de mezclas asfálticas mediante el ensayo de tracción indirecta con cargas repetidas." Tosticarelli Jorge, Martínez Fernando, Angelone Silvia. XXVII Reunión Anual de la Comisión Permanente del Asfalto. Pág. 25.
9. "Diez años de experiencia en la determinación experimental de módulos dinámicos en mezclas asfálticas: análisis y evaluación de los resultados obtenidos." Martínez Fernando, Angelone Silvia. XXIX Reunión Anual de la Comisión Permanente del Asfalto.
10. "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993". Publicado por American Association of State Highway and Transportation officials.

Se reconoce la tarea de colaboración desarrollada por los alumnos Gustavo Héctor de la Encina y Lisandro Jorge Galmarini en el procesamiento de datos, siendo el mismo su Proyecto Final de la Carrera de Ing. Civil, finalizado en diciembre 1995.