

NORMALIZACIÓN DE LAS DEFLEXIONES LACROIX POR TEMPERATURA

Oscar Hugo Giovanon¹, Marta Beatriz Pagola²,
José Tamara Naranjo³

¹ IMAE Univ. Nacional de Rosario, Berutti y Riobamba, Rosario, Argentina, ogiovanon@gmail.com

² IMAE Univ. Nacional de Rosario, Berutti y Riobamba, Rosario, Argentina, Pagola@fceia.unr.edu.ar

³ Maestrando Ing. Vial FCEIA UNR, Berutti y Riobamba, Rosario, Argentina, ing_tamara@hotmail.com

Resumen

A diferencia de lo aplicado en las mediciones de deflexiones realizadas con regla Benkelman o Equipos por Impacto, no se aplican en Argentina factores de corrección para los valores obtenidos con los equipos tipo Lacroix. Se especifica que la temperatura medida en el agua colocada en un orificio realizado en el pavimento de 4 cm de profundidad se encuentre entre + 5 °C y + 30 °C, tanto para mezclas asfálticas como para tratamientos.

Esa restricción en las temperaturas asociada a la inexistencia de factores de corrección por temperatura, limita la operatividad de los equipos a la situación climática, dificulta las determinaciones de sectores homogéneos y crea incertidumbres en el seguimiento del comportamiento de los tramos a nivel red.

En el presente trabajo se evalúan los efectos de la temperatura en las mediciones de los equipos Lacroix existentes en Argentina. Esta valoración se realiza sobre estructuras en servicio de diferentes características y mediante la simulación de las mediciones.

Se comentan las particularidades acontecidas al realizar mediciones con temperaturas extremas, superiores a 40 °C, para las cuales las deflexiones evaluadas con estos equipamientos dejan de crecer e incluso pueden disminuir. Se proponen finalmente metodologías de normalización de las mediciones.

Palabras Clave: Deflectometría, Lacroix, Normalización, Temperatura.

1 Introducción

La medida de las deflexiones dentro del ámbito de las técnicas no destructivas de evaluación y rehabilitación de calzadas cobra gran importancia a partir de los años 50, donde las mediciones se basaron en el uso de la viga Benkelman y equipos estacionarios

Actualmente la deflexión es uno de los principales parámetros utilizados para la evaluación estructural de pavimentos y el retro-cálculo de los módulos de las capas del firme.

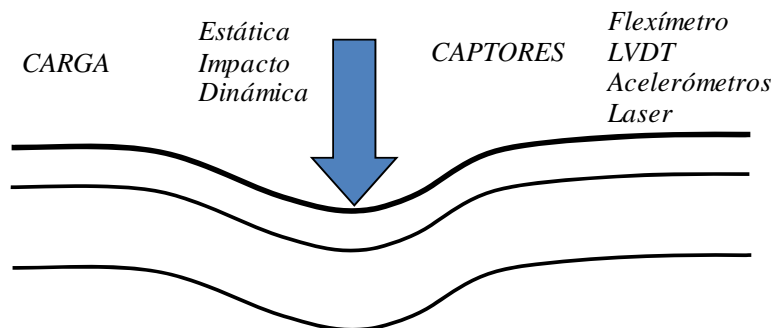


Figura 1 Esquema medición deflexiones

Para efectuar la medición de las deflexiones existen varios equipos que operan bajo diferentes principios incluidos en el esquema general de la Figura 1, pudiendo clasificarse en los

siguientes grupos: de carga estática o cuasi estática, carga vibratoria sinusoidal, carga por impacto y por efecto Doppler.

De carga estática o cuasi estática. miden la deflexión máxima bajo una carga estática o de movimiento muy lento y en este grupo se destacan: la regla Benkelman, el deflectógrafo Lacroix y el curvímetro.

De carga vibratoria sinusoidal. Consiste en la aplicación de una precarga estática y una vibración sinusoidal al firme mediante el uso de una fuerza dinámica, con objeto de asegurar que no exista separación de la zona de contacto con el pavimento.

De carga por impacto. un peso se levanta a una altura dada por encima del firme y se deja caer en un sistema de amortiguación. El pulso de carga generado permite simular, con buena aproximación, el efecto dinámico del paso de un semieje. Se denominan genéricamente FWD por sus siglas en inglés Falling Weight Deflectometer.

Carga dinámica, sensores Doppler fue desarrollado en Dinamarca y mide las deflexiones a una velocidades del tránsito, utilizando los principios del efecto Doppler para el cálculo de los desplazamientos.

2 Antecedentes del efecto de la temperatura sobre las deflexiones

El análisis del estado del arte a nivel mundial muestra que el tema que presenta la temática de la normalización de las deflexiones en los diferentes tipos de dispositivos respecto a la temperatura, no es nuevo pero sigue siendo actual.

Cabe destacar la importancia que tiene la temperatura al momento medir las deflexiones sobre pavimentos flexibles, los cuales al tener en su composición materiales bituminosos, ven influenciadas en buena manera sus características elásticas ante los cambios térmicos, lo que conlleva a la pérdida o aumento de su rigidez. Numerosos estudios y métodos empíricos y/o teóricos, han sido desarrollados en todo el mundo con la intención de determinar los parámetros de corrección de las deflexiones por temperatura. A continuación se resumen los principales aspectos encontrados en el estudio bibliográfico.

Si bien 20 °C es la temperatura de referencia usualmente adoptada puede evidenciarse que no constituye una norma general, adoptándose por ejemplo 15 °C ó 35 °C de acuerdo a las características climáticas del lugar.

Se resalta la existencia de múltiples factores que pueden ser considerados en un enfoque exhaustivo tendiente a la normalización de las mediciones como los factores estacionales y los diferentes parámetros que condicionan la rigidez relativa de las capas asfálticas respecto al resto de la estructura:

- la frecuencia del equipo de ensayo
- la temperatura de las capas asfálticas y donde valorarla
- el espesor de las capas asfálticas
- la rigidez de la subrasante
- la presencia de capas cementadas
- en menor grado el espesor y calidad de capas granulares.

Se cita en general un amplio rango de temperaturas para corregir las deflexiones efectuadas con equipos tipo FWD y se advierte respecto a anomalías con temperaturas elevadas al aplicar la carga mediante ruedas duales, referidos en particular a la viga Benkelman pero coincidente con la conformación de los deflectógrafos Lacroix.

3 Factores de corrección utilizados en argentina

En lo referente a la corrección por temperatura de las deflexiones en la Argentina, se adoptó como temperatura de referencia en 20 °C, normalizándose las mediciones efectuadas con regla Benkelman y con equipos tipo FWD, pero no las realizadas con los deflectógrafos Lacroix.

Para las auscultaciones realizadas con la regla Benkelman se establece un rango de medición entre 10 °C y 30 °C y un factor corrector de la deflexión, utilizando una expresión analítica que involucra la temperatura de ensayo y el espesor de las capas bituminosas. Dicha ecuación fue expuesta por Petroni et al. (1977), en el marco del VIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito.

$$D_c = \frac{D}{1 + \frac{(T-20)H}{1000}} \quad (1)$$

donde D_c es deflexión a temperatura de referencia en mm/100, D es la deflexión medida a la temperatura de ensayo en mm/100, T la temperatura en °C y H el espesor capas asfálticas en cm-

Por su parte en la utilización del FWD, la corrección por temperatura de las deflexiones se ejecuta según lo establecido en la guía de diseño ASHHTO 93, que expresan gráficamente los factores de corrección para base granular o cementada en función de la temperatura y el espesor asfáltico.

En referencias a las mediciones con los equipos Lacroix la Dirección Nacional de Vialidad existen dos modelos de diferentes el anterior modelo originario de la firma WDM y el más recientemente incorporado de origen francés de la firma Vectra.

Estos equipos presentan diferencias en los resultados obtenidos en un mismo momento y sector originadas en diferencias en su geometría que pueden ser evidenciadas en la Figura 2, que esquematiza la geometría de sus ejes y sistema de relevamiento. Estudios conjuntos con la DNV dieron origen a ecuaciones que permiten vincular las mediciones de ambos equipos, las que actualmente son utilizadas para normalizar todas las mediciones a nivel red a los valores expresados por los equipos tipo WDM.

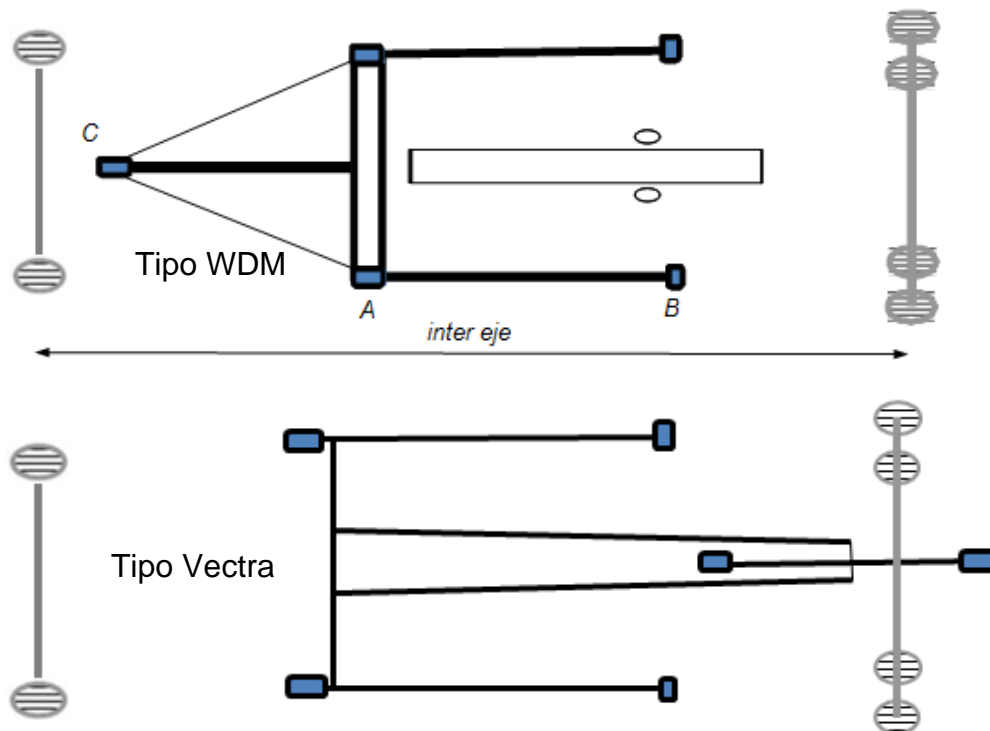


Figura 2 Esquema de los equipos Lacroix

En referencia a la temperatura se restringe la medición a un entorno de la temperatura del pavimento, evaluada con termómetro en un hueco del mismo, entre 5 °C y 30 °C. No existiendo un criterio adoptado para la normalización a 20 °C.

4 Análisis del posible período de medición

Para poner de manifiesto las limitaciones impuestas por el entorno de temperaturas admisible se utilizó un programa de simulación del clima Tempe, desarrollado en el Laboratorio Vial (1986), con el que se simuló un año con días típicos para dos ubicaciones geográficas, correspondientes a las localidades de Reconquista, Chaco, y Ushuaia, Tierra del Fuego.

Siguiendo los criterios de temperatura que permiten efectuar la medición, se indican en el eje “y” de las Figuras 3 y 4 las horas del día en las que sería apto realizar mediciones. Especialmente en la Figura 3 correspondiente a la zona de la ciudad de Reconquista puede observarse la poca disponibilidad horaria, reducida aún más si por seguridad se limitan las mediciones al horario diurno.

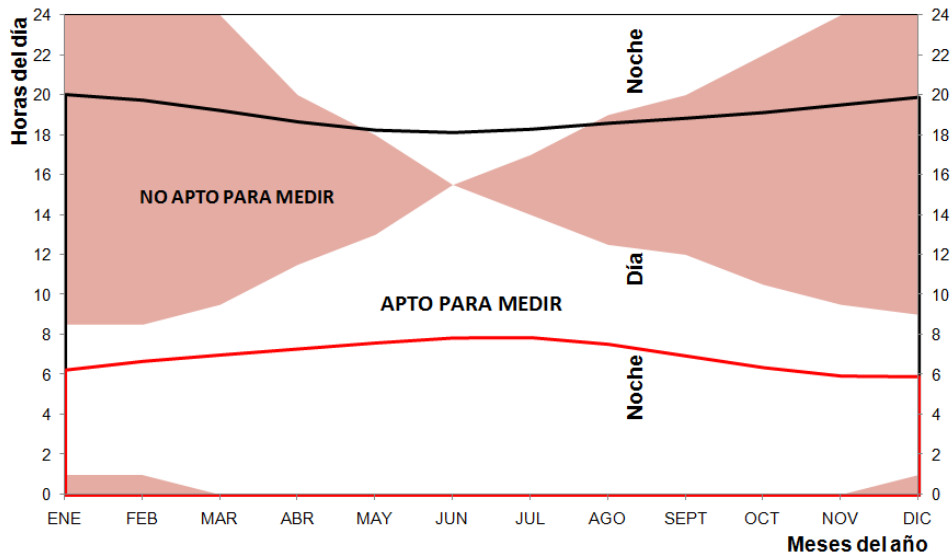


Figura 3 Horario apto para efectuar mediciones en las proximidades de Reconquista

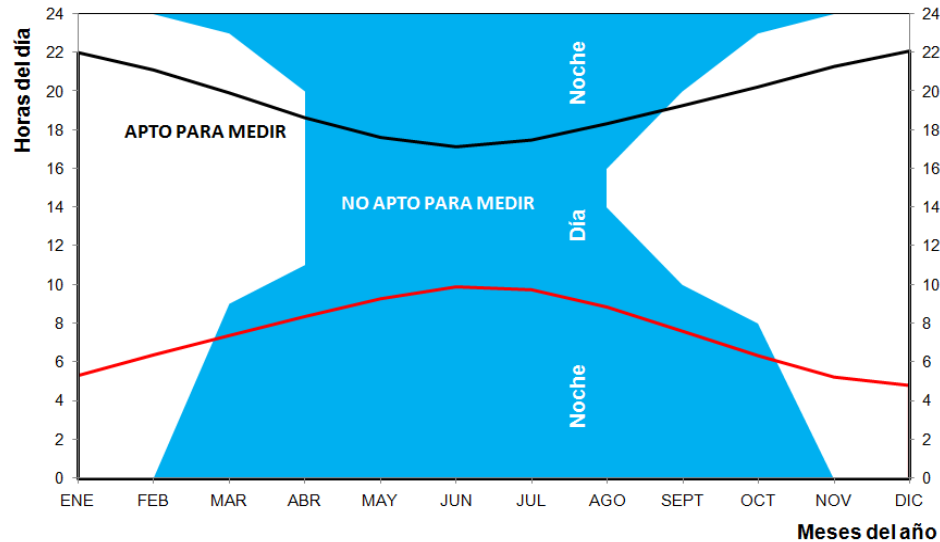


Figura 4 Horario apto para efectuar mediciones en las proximidades de Ushuaia

Como era de esperar, en Reconquista la limitación se produce por un elevado valor térmico de la superficie, siendo sólo posible un día típico del mes de junio medir en cualquier horario- Es necesario acotar que dentro de nuestro país existen situaciones de temperaturas aún más extremas.

Estas circunstancias ponen énfasis en estudiar la posibilidad de extender el rango de temperaturas aptas para efectuar las mediciones, pero dadas las variaciones ocasionadas en los valores obtenidos, esto es sólo recomendable si se obtienen expresiones que permitan normalizar las mediciones obtenidas a la temperatura de referencia adoptada.

El mismo análisis se realizó para la ubicación de Ushuaia, ilustrado en la Figura 4, donde puede verse que las limitaciones a la medición se dan por baja temperatura.

5 Algunas experiencias propias

Con el objetivo de intentar ampliar el rango de temperaturas y establecer una metodología de normalización de las mediciones es que se comenzó con el análisis de diferentes experiencias que aportaron información relevante a este estudio, comentándose a continuación sólo algunas de ellas.

Cabe aquí expresar la predisposición e interés planteado por el personal de la Dirección Nacional de Vialidad en el tratado de esta problemática.

En cada experiencia se procedió, luego de las tareas de campo, a modelizar la estructura evaluada e intentar reproducir las variaciones evidenciadas en los valores relevados, mediante la simulación del proceso de medición.

Se requiere para esta simulación la evaluación de los desplazamientos verticales de todos los puntos del sistema de medición provocados por las cargas actuantes a cada distancia de relevamiento del cuenco, como se esquematiza en la Figura 5.

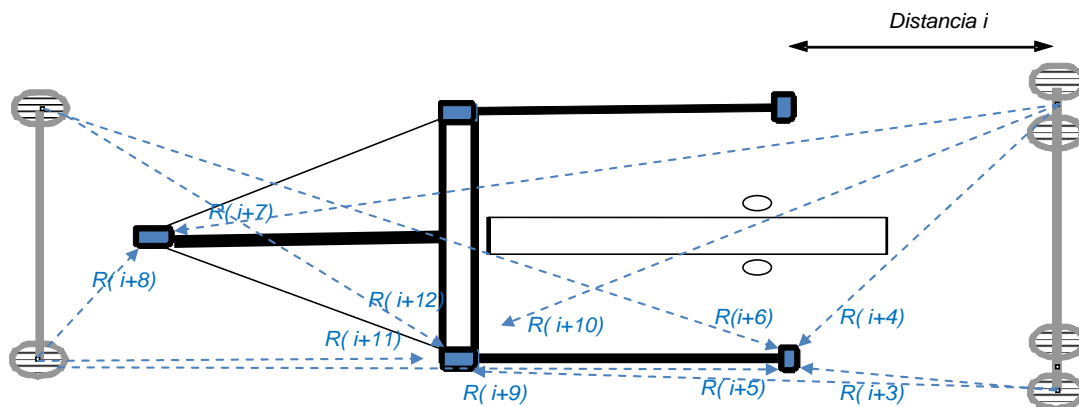


Figura 5 Esquema del análisis de cargas y distancias empleado en la simulación

5.1 Mediciones en estructura de gran espesor asfáltico

En oportunidad de realizar controles operativos sobre los equipos Lacroix en marzo de 2013 sobre un sector de la RN n° 12, pudo observarse un aumento sistemático de la deflexión a lo largo de las dos mañanas en que se realizaron los controles.

La Figura 6 muestra los valores de la temperatura de superficie evaluada por los cinco deflectógrafos tipo Vectra con sensor infrarrojo, diferenciando las mediciones de las dos mañanas, donde la recta de regresión de menores valores corresponde al segundo día de medición que presentó una nubosidad elevada.

Este sector posee una importante estructura, constatada oportunamente con georradar, presentando un espesor de 26 cm de mezcla asfáltica, hecho que motiva los reducidos valores de deflexión obtenidos.

Dado que el valor de la temperatura media de la mezcla es el parámetro que condiciona la rigidez de los 26 cm de capas asfálticas, y no se disponía de sensores específicos, se utilizó un programa para simular el clima de la zona [] obteniéndose la relación con la temperatura de superficie, para un día de marzo típico similar al primer día de trabajo, mostrada en la Figura 7.

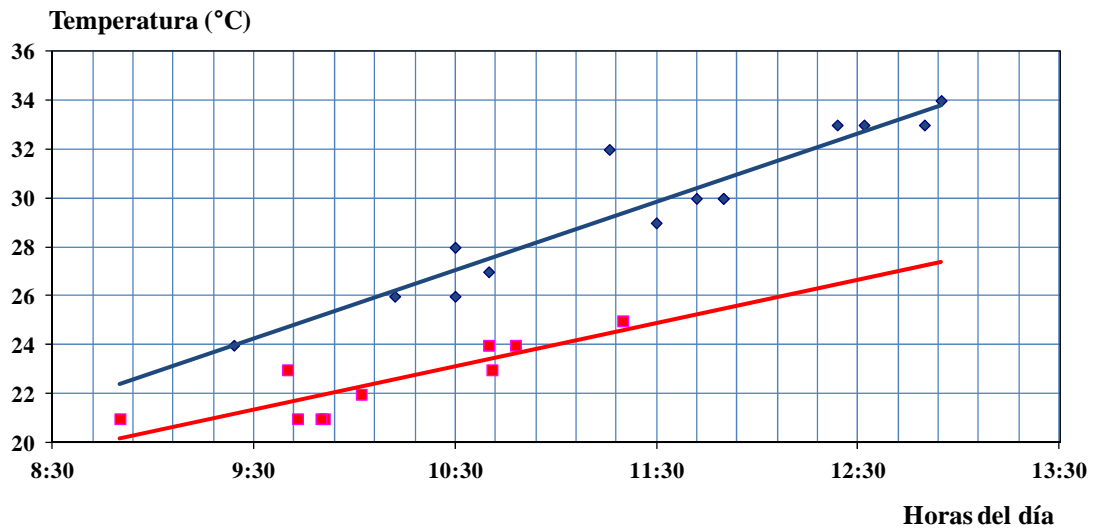


Figura 6 Aumento de la temperatura de superficie a lo largo de la mañana

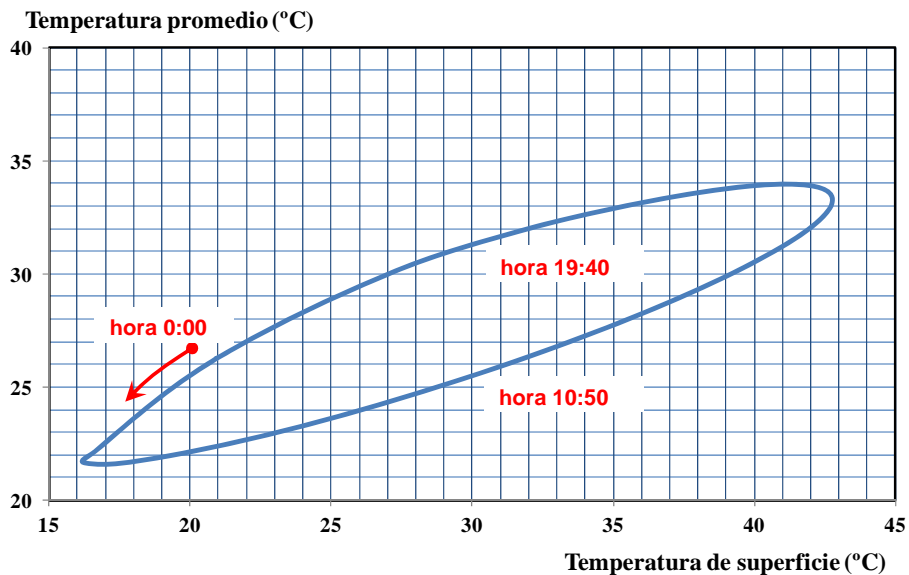


Figura 7 Temperatura media de la mezcla versus temperatura de superficie

Se pone de manifiesto la diferencia existente entre ambas temperaturas, en superficie se alcanzan 43 °C mientras que la mezcla logra un máximo inferior de 34 °C. Puede observarse también la no unicidad de la relación, lográndose por ejemplo 30 °C en la superficie en dos oportunidades, a las 10:50 hs con un valor medio de 25 °C y también a las 19:40 hs con un valor medio de 31 °C.

Dado que se asigna la temperatura media de la mezcla al valor adecuado para definir el módulo de trabajo y poder simular los diferentes momentos, se procedió a modelizar la estructura para la condición media de los ensayos realizados, 28 °C de temperatura de superficie y 25 °C de media para la mezcla. Procediendo luego a simular las mediciones como si se hubieran efectuado a lo largo de todo el día.

La Figura 8 muestra comparativamente los valores medidos y simulados respecto a la temperatura de superficie, donde se aprecia una muy buena congruencia entre ambos, puede también notarse la discrepancia que se produce por la tarde si se mantiene la temperatura de superficie como el único indicador de la variación de la deflexión sin considerar conjuntamente el clima con el espesor asfáltico.

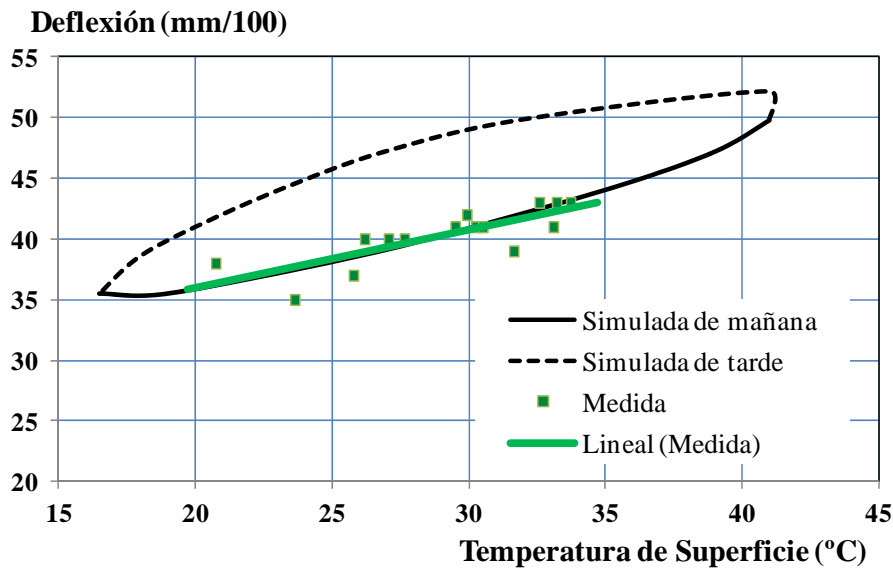


Figura 8 Deflexiones Lacroix medidas y simuladas

5.2 Mediciones en estructura de pequeño espesor

Con el objeto de validar la independencia de la deflexión respecto a la temperatura en estructuras de reducido espesor asfáltico, se efectuaron mediciones en un tramo de ruta provincial cuya estructura está constituida por capas granulares sobre las cuales se efectuó inicialmente un tratamiento superficial y deteriorado este se efectuó un retratamiento, completándose así un espesor asfáltico del orden de los cuatro centímetros.

En esta oportunidad se efectuaron mediciones con siete deflectógrafos Lacroix en un amplio rango de temperaturas de superficie entre 17 y 54 °C no evidenciándose ninguna tendencia respecto a la temperatura, como puede visualizarse en la Figura 9.

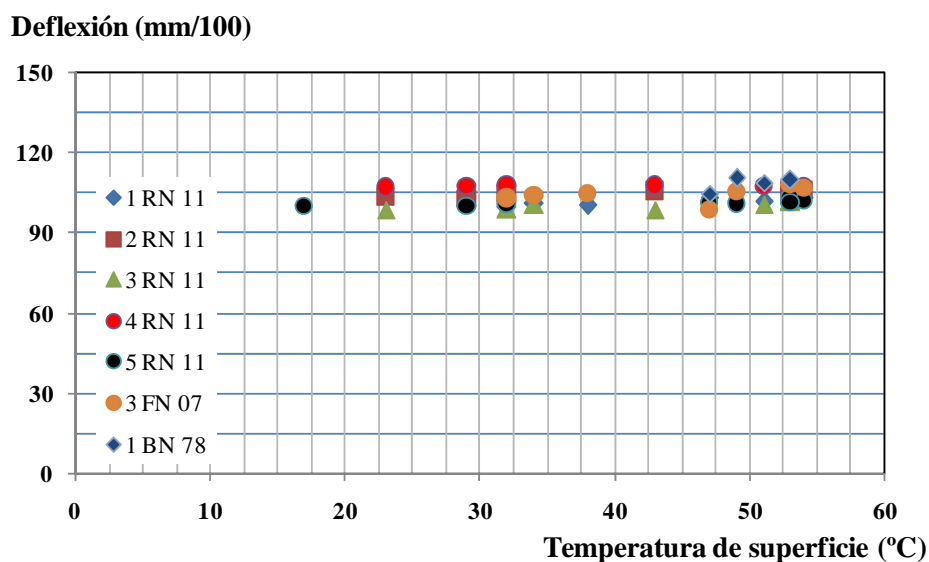


Figura 9 Deflexiones Lacroix para diferentes temperaturas de superficie sobre tratamiento bituminoso

5.2 Anomalías a altas temperaturas

Una situación diferente a la anterior pueden acontecer si se realizan mediciones a temperaturas de la mezcla superiores a los 30 °C donde pueden acontecer como se sita en la bibliografía mediciones que en primer momento pueden considerarse erróneas por presentar una tendencia contraria a la esperada, al valorarse menores deflexiones a mayores temperaturas.

Esta circunstancia fue evidenciada en un tramo de ruta nacional con 12 centímetros de mezcla asfáltica sobre capas granulares al efectuar mediciones entre 30 y 48 °C de temperatura de la mezcla donde en lugar de aumentar, la deflexión se mantuvo prácticamente constante evidenciando un descenso de 67 a 65 mm/100. en el promedio de las mediciones de cinco equipos Lacroix.

Efectuada la modelización del tramo mediante capas elásticas fue necesario para representar este efecto:

- limitar el módulo de la mezcla a un mínimo de 500 MPa asociando este valor a la contribución de los granulares dado que inicialmente se había adoptado la curva maestra del material obtenida en tracción indirecta, donde esta contribución esta minorada.
- tener en cuenta además que el coeficiente de Poisson de mezcla varia con la temperatura [] en lugar de adoptar un valor constante de 0,35 como es usual.

Con estas hipótesis de modelización se obtuvo una tendencia similar a la evaluada por los equipos como se muestra en la Figura 10.

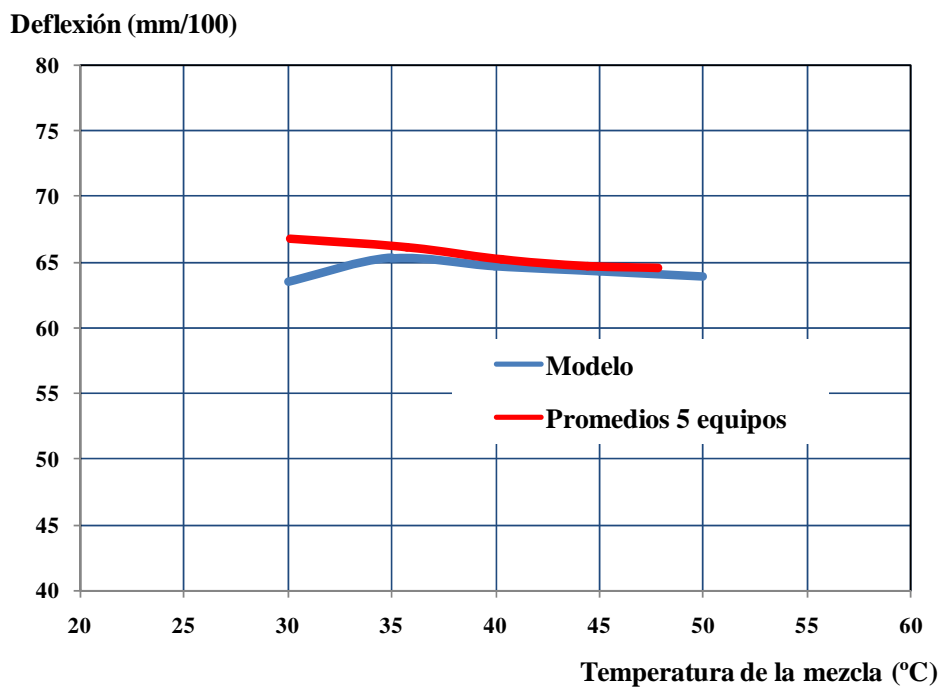


Figura 10 Deflexiones Lacroix para diferentes temperaturas de la mezcla

5 Propuesta de normalización

En base a los resultados obtenidos donde el modelo de simulación de la medición representa adecuadamente las variaciones de la deflexión Lacroix con la temperatura, en los diferentes casos evaluados en campo, se valida la utilización del modelo para calcular los coeficientes de corrección para diferentes situaciones.

En las modelizaciones realizadas, se calcula el coeficiente de corrección K como la deflexión simulada a 20 °C dividida por la deflexión simulada a cada una de las diferentes temperaturas, de manera que, para normalizar una deflexión se deberá multiplicar por el factor K correspondiente a esa temperatura.

En la Figura 11 se muestra la gráfica del coeficiente de normalización obtenida para diferentes espesores de mezcla asfáltica entre 5 y 25 centímetros en función de la temperatura media de la mezcla. Esta gráfica corresponde a una modelización no lineal de los materiales de una estructura compuesta por bases y subbase granulares apoyadas en una subrasante caracterizada por su ecuación constitutiva, que podría asociarse con un valor soporte relativo de 5% de la misma.

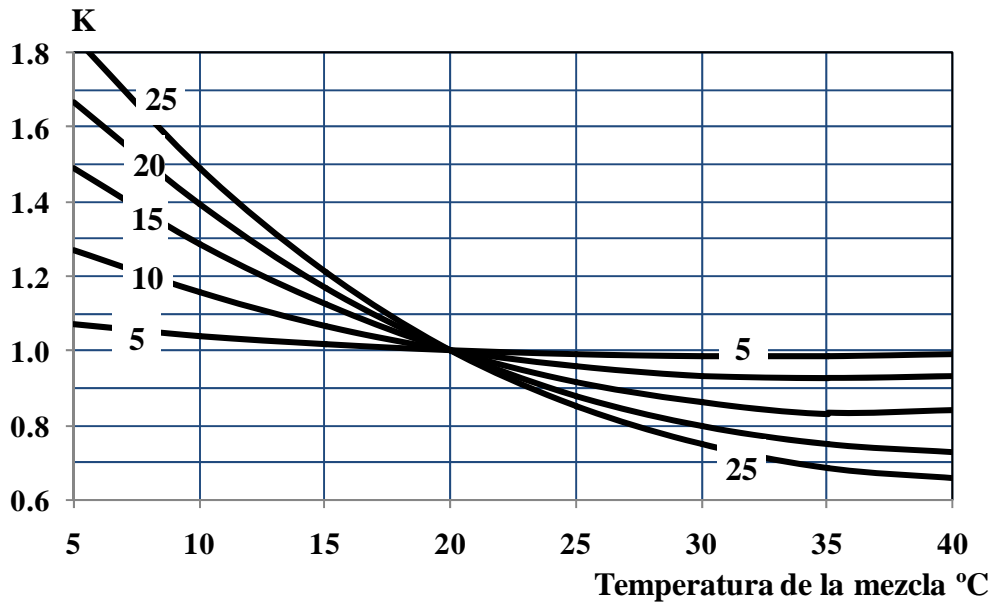


Figura 11 Coeficientes de normalización para diferentes espesores de la mezcla en función de la temperatura de la mezcla

Es necesario recalcar que en estructuras con subrasantes de mayor rigidez y/o bases cementadas y/o mezclas asfálticas modificadas y/o deterioradas, se obtendrían menores susceptibilidades con la temperatura.

En referencia a estructuras con capas de espesor menores a 5 centímetros se sugiere no limitar las mediciones por efecto de la temperatura, ni efectuar correcciones por este aspecto.

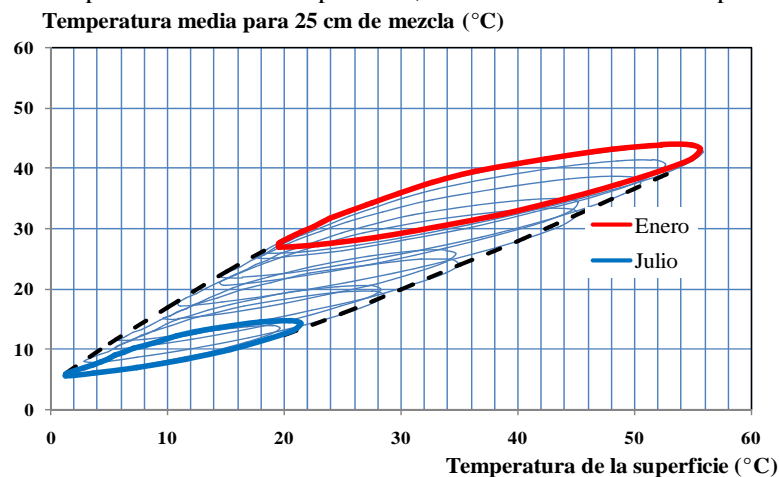


Figura 12 Relación entre las temperaturas media y de superficie a lo largo del año para 25 cm de mezcla asfáltica

Dado que la temperatura media de la mezcla no presenta una relación directa con la temperatura de la superficie evaluada por los equipos como fue puesto de manifiesto en el punto 5.1, se realizaron curvas de tendencia media para diferentes zonas climáticas y espesores de la

mezcla asfáltica, se muestra a continuación en las Figuras 12 y 13 las correspondiente a un clima continental del centro de la república (San Rafael, Mendoza) para espesores de 25 y 10 cm de mezcla asfáltica respectivamente. Se indican las tendencias para los doce meses del año resaltando las correspondiente a los meses de temperaturas extremas, enero y julio.

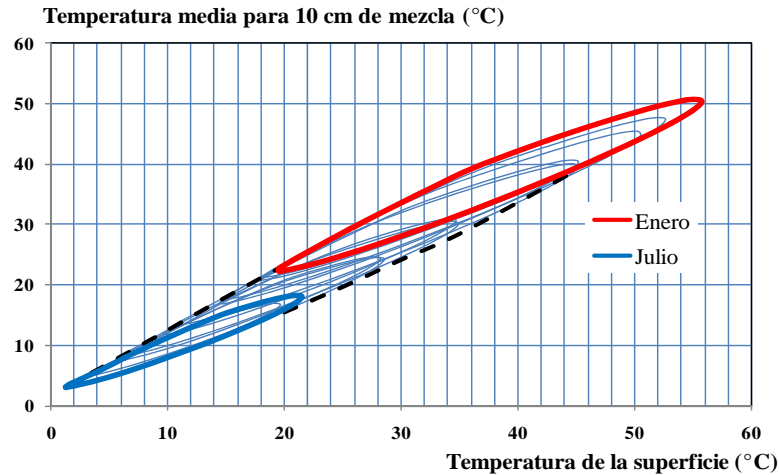


Figura 12 Relación entre las temperaturas media y de superficie a lo largo del año para 25 cm de mezcla asfáltica

6 Conclusiones

Se reconoce el presente trabajo como una primera aproximación a esta problemática que deberá ser ampliada con el análisis de diferentes mediciones a realizar en futuras campañas.

Finalmente brindamos un sincero agradecimiento al personal de la DNV sin el cual no se hubiera podido contar con los datos requeridos para el análisis.

7 Referencias

- [1] WASHO. (1954) The WASHO Road Test. Special Report 18, Highway Research Board.
- [2] Petroni E., Kuziora A., Levchenko V., Casal C., Bellone E., Venier G. (1977). Variación con la temperatura de la deflexión Benkelman recuperable. Memoria VIII congreso argentino de vialidad y tránsito. Buenos Aires. Argentina.
- [3] Smithand H. R. y Jones C. R. (1980). Measurement of pavement deflections in tropical and sub-tropical climates. TRRL laboratory report 935. Crowthorne, Berkshire.
- [4] IRC: 81 (1981). Tentative Guidelines of Flexible Road Pavements Using Benkelman Beam Deflection Technique. Indian Road Congress. Nueva Delhi. India.
- [5] Giovanon O. (1986). Predicción de la temperatura de la mezcla a partir del clima de una región. XXIV Reunión Anual del Asfalto en Mar del Plata, Argentina.
- [6] CEDEX. (1988) Norma NTL 356, Medida de las deflexiones de un firme mediante el ensayo con viga Benkelman, España.
- [7] AASHTO. (1993). guide for design of pavement structures. USA
- [8] NRC SHRP (1993). Procedure for temperature correction of maximum deflections. Engineering, PCS/LAW. Report SHRP-P-654. Washington D.C.
- [9] FHWA. (1994). LTPP Seasonal Monitoring Program: Instrumentation Installation and Data Collection Guidelines. Report No. FHWA-RD-94-110. McLean, VA.
- [10] Baltzer S., Ertman L. H., Jansen, J., Lukanen, E. y Stubstad, R.(1994). Prediction of AC material temperatures for routine load/deflection measurements. Fourth International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields. Minneapolis.

- [11] Highways Agency (1999). Pavement design and maintenance. Pavement maintenance assessment. Structural assessment methods. DMRB Volume 7 Section 3 Part 2 deflection testing (pp 1-10), London, Inglaterra.
- [12] The Asphalt Institute (2000). Asphalt overlays for highway and street pavement, Manual Series N°17. Maryland, USA.
- [13] Lukanen, O., Stubstad R. and Briggs R. (2000). Temperature Predictions and Adjustment Factors for Asphalt Pavement. Federal Highway Administration Report No. FHWA-RD-98-085, USA.
- [14] Ministerio de fomento. (2003). Norma 6.3-IC, Rehabilitación de firmes, anexo 3; Guía para el estudio de las deflexiones en pavimento bituminosos. España.
- [15] Tosticarelli J., Pagola M., Giovanon O., Martínez P., Mezzelani G., Muzzolini J. (Noviembre, 2006). La auscultación de pavimentos en la argentina. Su evolución y estado actual. XXXIV reunión del asfalto, Mar del Plata, Argentina.
- [16] Giovanon O. y Pagola M. (2009). Modelización estructural con deflectometría Lacroix. Laboratorio vial IMAE.
- [17] Simonin J., Geffard J., Hornych P. (Septiembre, 2015). Performance of deflection measurement equipment and data interpretation in France. International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering. (NDT-CE), Berlin, Alemania.
- [18] Yousuf N. & Mohsin H. K. (2015). Strengthening of flexible pavement through benkelman beam deflection (BBD) technique. Impact Journal.