

“Empleo del Light Weight Deflectometer para establecer el número estructural efectivo en vías a ser pavimentadas”

Julián Rivera, Luciano Brizuela, Natalia Alderete, Martín Villanueva

LEMaC, Centro de Investigaciones Viales

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata.

Avda. 60 y 124, La Plata, Buenos Aires, Tel/Fax: (0221) 4890413 lemac@frlp.utn.edu.ar

Introducción

La metodología de retrocálculo según AASHTO93 es comúnmente utilizada para la determinación de espesores de refuerzo asfáltico sobre vías ya pavimentadas. Se idealiza mediante la misma un paquete estructural tricapa (subrasante, paquete existente y refuerzo a colocarse), obteniéndose la respuesta modular con el Falling Weight Deflectometer (FWD) sobre dos de estas capas (subrasante y paquete existente). Esta respuesta se toma para la estimación de su Número Estructural Efectivo (SN_{eff}). Lo mismo sucede con la aplicación de la deflexión directamente sobre la base para establecer el espesor de la capa asfáltica de rodamiento (George, 2006).

Así, mediante la aplicación del retrocálculo según AASHTO93, se determinaría el Módulo Efectivo hasta la capa de base terminada (E_p), lo cual permite estimar su número estructural efectivo SN_{eff} , y el Módulo Resiliente de la subrasante (Mr), que posibilita estimar el Número Estructural requerido (SN). Por diferencia entre ambos números estructurales se establece cuál es la solución de capa de rodamiento que corresponde entre las alternativas especificadas (EICAM, 1998).

Pero existe un factor limitante para la aplicación de la citada metodología de trabajo, que reside en que no resulta económicamente justificable el contar con un FWD en forma constante en obra para ser utilizado con este único fin. Este aspecto se puede resolver si se instrumenta adecuadamente el empleo de un equipo de reciente disponibilidad a nivel regional, como es el caso del Light Weight Deflectometer (LWD). El mismo resulta mucho más económico que el FWD, tanto que su precio justificaría su uso en la aplicación planteada. Pero la metodología de retrocálculo de AASHTO93 ha sido desarrollada considerando los condicionantes propios del FWD. Es decir, los modelos son de aplicación cuando la sollicitación dinámica ejercida es del orden de los 40 KN (correspondiente a la mitad del eje de 80 KN utilizado de referencia) lo cual no sucede con el LWD, en donde la sollicitación es mucho menor (aproximadamente 7 KN para la masa de 10 kg).

Desde el LEMaC, se ha planteado un proyecto I+D en busca de obtener las correspondientes correlaciones que permitan instrumentar el uso de las mediciones con el LWD, para la aplicación del retrocálculo según AASHTO93. Se presentan en esta nota sintética algunos aspectos de relevancia de los trabajos realizados y los resultados obtenidos.

Métodos y equipos

Para determinar el módulo resiliente en campo se emplean los deflectómetros de impacto, siendo el más comúnmente utilizado el FWD. El mismo viene provisto con una cantidad variable de geófonos ubicados a diversas distancias del punto de aplicación de la carga, lo cual permite la obtención del cuenco de deflexión.

En los últimos años han aparecido en el mercado regional Deflectómetros de Impacto más livianos y económicos, denominados comúnmente LWD, como el que se observa en la Figura 1. En un principio se han empleado en la verificación de la compactación de capas de

base, debido a que por ejercer cargas mucho menores que las del FWD, no pueden ser empleados sobre capas asfálticas o incluso sobre capas de base muy fuertemente cementadas (Fleming et al, 2000).

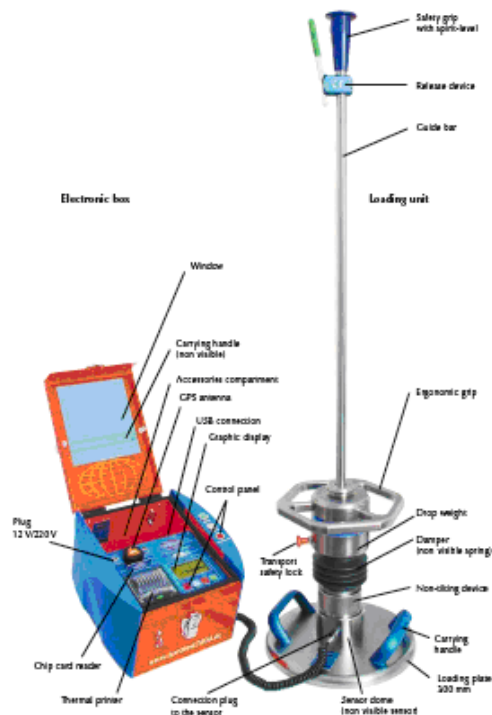


Figura 1. Light Weight Deflectometer (Fuente: TERRATEST)

Los resultados de las deflexiones pueden emplearse luego en el análisis estructural mediante técnicas de retroanálisis, para determinar los valores de los módulos de las capas de pavimento, que mejor modelan la forma y magnitud del cuenco de deflexiones medidas. Los módulos determinados de esta manera se consideran representativos de la respuesta estructural del pavimento, aunque puedan luego ser corregidos por el tipo de material y ubicación en el paquete (ICG, 2011).

Metodología de la investigación

Se contempló sobre pistas de prueba con diversas subrasantes y bases, el empleo del LWD y la correlación de los resultados con las deflectometrías FWD simuladas mediante la teoría de las capas elásticas, a partir de los resultados de muestras ensayadas para la obtención de módulo resiliente en laboratorio. Se instrumentó el empleo de estas simulaciones y no de la medición directa, por no contar el grupo de estudio con posibilidades de acceder a tal equipamiento durante las tareas en obra.

Se requirió así la posibilidad de acceder a vías recién construidas hasta el nivel de base, con distintos materiales constituyentes y sobre subrasantes de diferente aptitud vial. Dado que el LEMaC planteó el uso de la metodología de correlación a desarrollarse inicialmente en el ámbito en el que se desenvolvía, siendo el responsable de los controles y asesorías en pavimentación de la totalidad de la ciudad de La Plata, planteándose a su Dirección de Pavimentación la posibilidad de generar un convenio de ayuda mutua en tal sentido. Se arribó así a un acuerdo institucional, en donde el LEMaC efectuó los estudios, teniendo a La Plata como primer destinatario de los resultados de los mismos, y el Municipio incluyó en sus planes de pavimentación sobre subrasantes de diverso aporte estructural, la materialización de diversas tipologías de bases (con su correspondiente variabilidad de

aporte estructural). De esta manera se contó con el espectro estructural que permitió la realización de las tareas previstas.

Pero hubo otro aspecto de relevancia que condicionó lo analizado. Este residía en el hecho de que si bien se hallaron en el mercado equipos de LWD provistos con geófonos, de manera similar a los FWD, estos presentaban un costo posiblemente por encima de los justificables para la aplicación planteada, con una complejidad instrumental que requería de ciertos cuidados especiales.

Con costos muy inferiores a estos últimos se hallaron equipos LWD no provistos de geófonos, que resultaron más adecuados técnico/económicamente a la finalidad planteada, pero requirieron de una forma de medición especialmente diseñada para la aplicación de la metodología de retrocálculo. Se contempló así, en lugar de la generación de una única carga y la medición de deformaciones a distinta distancia, la generación de una carga sobre la superficie de la base terminada, la excavación de ésta hasta la subrasante y la generación de una nueva carga en este nivel.

Mediante estos pasos se registró una deflexión $d_{0_{LWD}}$ sobre la base y un Mr_{LWD} a nivel de subrasante, utilizables mediante las debidas correlaciones en la determinación del E_p y del Mr_{FWD} para retrocálculo, respectivamente. Es justamente el hecho de que estas mediciones fueran afectadas por una respectiva correlación lo que dio validez a la metodología, ya que cualquier discusión planteada en torno a la misma quedó excusada en el hecho de que en el retrocálculo intervienen mediciones corregidas en función de lo que hubiera arrojado el FWD. Cabe señalar que se considera un paquete bicapa (subrasante y base) a ser complementado para establecer el paquete tricapa con la capa de refuerzo, debiéndose entender que la capa de base puede estar constituida por una o más capas.

Aplicación de la metodología

De acuerdo a las tareas planteadas, en base al convenio alcanzado con la Municipalidad de La Plata, se procedió a ejecutar los tramos de prueba propuestos para su correspondiente análisis. Se obtuvieron 12 tramos de prueba diferentes, de los cuales para los materiales constituyentes se determinaron las humedades y densidades in situ, efectuándose luego en laboratorio el ensayo de módulo resiliente AASHTO T307-99(2003). En la Figura 2 se observan imágenes recolectadas durante las pruebas de campo.





Figura 2. Imágenes recolectadas durante el análisis de los primeros tramos de prueba

Con las series de resultados para cada material en cuanto a M_r , σ_d y σ_3 obtenidos, se realizaron las regresiones múltiples no lineales para obtener los coeficientes de ajuste de la ecuación constitutiva a ser utilizada para el análisis.

Con estos datos y configurando el semi-eje equivalente se simularon las deflexiones obtenibles con el FWD, para arribar a los $d_{0_{FWD}}$ y Mr_{FWD} de cada punto analizado. Se procedió entonces a efectuar el cálculo de los coeficientes de conversión para arribar en cada caso desde el $d_{0_{LWD}}$ y Mr_{LWD} al $d_{0_{FWD}}$ y Mr_{FWD} , respectivamente.

Pudo observarse entonces, y tal cuál ya había sido previsto, que los coeficientes obtenidos no resultaron constantes, por lo que se procedió a determinar su ley de variación en función del incremento de la correspondiente variable independiente, observándose que el mayor grado de ajuste (mayor coeficiente de determinación) se alcanza con regresiones logarítmicas para los d_0 y lineales para los M_r . Las gráficas han sido obtenidas para las masas de 10 kg y 15 kg con las que viene provisto el equipo, siendo según el fabricante el rango óptimo de empleo módulos de 15 a 70 MPa para la masa de 10 kg, y de 70 a 120 MPa para la masa de 15 kg.

Se observa al final de la nota la metodología de empleo del LWD resultante.

Referencias

- AASHTO (1993). "Guide for design of pavement structures 1993". American Association of State Highway and Transportation Officials, ISBN 1-56051-055-2, EEUU.
- EICAM (1998). "Curso de actualización de diseño estructural de caminos, método AASHTO93". Universidad Nacional de San Juan, Argentina.
- George K.P. (2006). "Portable FWD (Prima 100) for in situ subgrade evaluation". Report FHWA/MS-DOT-RD-06-179, University of Mississippi, EEUU.
- ICG (2011). "Guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos. Manual práctico". Instituto de la Construcción y Gerencia. Autorizada por AASHTO (PT-56), Perú.

Metodología LEMaC para determinación de aporte estructural efectivo en vías sin pavimentar mediante LWD y retrocálculo según AASHTO93 (LEMaC-LWD)

ALCANCES

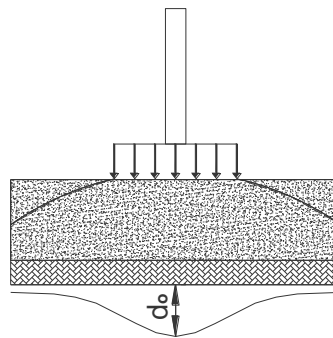
La metodología es aplicable para la determinación del número estructural efectivo (SN_{ef}) en mm en vías no pavimentadas en donde existe una capa no ligada (o conjunto de ellas) de material aportado sobre la subrasante.

ELEMENTOS

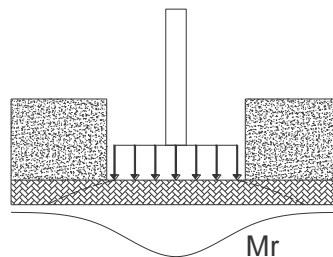
Deflectómetro de impacto liviano (LWD), provisto con masas de 10 kg y/o 15 kg..

METODOLOGIA

- Determinación de la deflexión sobre la superficie terminada ($d_{0_{LWD}}$) con LWD.



- Excavar en una superficie de 50x50 cm hasta el nivel subrasante.
- Determinación del espesor del paquete existente actual, desde el nivel de subrasante hasta la superficie terminada (D).
- Determinación del módulo resiliente de la subrasante (Mr_{LWD}) con LWD.



- Corrección de las lecturas LWD a las obtenibles con el deflectómetro de impacto de referencia (FWD), utilizando las siguientes expresiones en función de la masa utilizada.

$$Mr_{FWD} = \alpha \cdot Mr_{LWD}$$

$$d_{0_{FWD}} = \beta \cdot d_{0_{LWD}}$$

Donde:

Mr_{FWD} = Módulo resiliente obtenible con el FWD para la subrasante

Mr_{LWD} = Módulo resiliente obtenido con el LWD para la subrasante

$d_{0_{FWD}}$ = Deflexión obtenible con el FWD sobre la base

$d_{0_{LWD}}$ = Deflexión obtenida con el LWD sobre la base

$\alpha; \beta$ = Coeficientes de correlación resultantes en función de los Mr_{LWD} y $d_{0_{FWD}}$ medidos

$$\alpha_{10} = -0,010 \cdot Mr_{10_{LWD}} + 0,886$$

$$\alpha_{15} = -0,017 \cdot Mr_{15_{LWD}} + 1,161$$

$$\beta_{10} = -3,456 \cdot \ln d_{0_{10_{LWD}}} + 2,703$$

$$\beta_{15} = -1,889 \cdot \ln d_{0_{15_{LWD}}} + 2,833$$

- Dar valor en forma iterativa al módulo combinado de las distintas capas de la estructura del paquete estructural (E_p) hasta equilibrar la siguiente ecuación.

$$d_{0_{FWD}} = 1,5 \cdot p \cdot a \left\{ \frac{1}{Mr_{FWD} \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \sqrt[3]{\frac{E_p}{Mr_{FWD}}} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{E_p} \right\}$$

Donde:

a = radio del plato de carga = 15 cm

p = presión del contacto del semieje de referencia (40 kN) = 1,13 MPa

- Efectuar el cálculo del SN_{ef} mediante la siguiente expresión.

$$SN_{ef} = 0,0024 \cdot D \cdot (E_p \cdot 1000)^{1/3}$$

Donde:

D = espesor total desde subrasante hasta superficie de pavimento (mm)

E_p = modulo combinado (MPa)