

Evaluación estructural de pavimentos flexibles utilizando deflectómetro de impacto

Freddy Arturo Ocaña Ortiz
<https://orcid.org/0000-0003-3384-7569>
freddyarturo28@gmail.com /
focanaortiz@uniminuto.edu.co
Corporación Universitaria Minuto de Dios
UNIMINUTO
Zipaquirá-Colombia

Oscar Fabricio Cruz Rubio
<https://orcid.org/0000-00033-3238-9201>
oscar_cr19@hotmail.com
Universidad Santo Tomás
Bogotá-Colombia

Recibido (19/03/2022), Aceptado (03/05/2022)

Resumen.-Para este estudio se realizó un análisis a ocho (8) vías de la localidad quinta (5) de Usme en la ciudad de Bogotá, las cuales se construyeron con estructuras de pavimentos convencionales (bases granulares y sub-bases granulares) y otras que se intervinieron con materiales reciclados – RAP. Se ha optado últimamente por realizar técnicas para ensayos de alto rendimiento, conocidas como pruebas no destructivas, entre estos ensayos se destaca la utilización del deflectómetro de impacto FWD, cuya función es la de analizar la condición estructural de los pavimentos mediante la interpretación de las deflexiones producidas bajo cargas dinámicas que simulan el efecto del tránsito para luego realizar retro cálculos que se evalúan a través de indicadores para la obtención de módulos y números estructurales.

Palabras clave: RAP, Retrocálculo, Módulo resiliente, Deflectometría, Pavimento.

Structural evaluation of flexible pavements using impact deflectometer

Abstract.- For this study, an analysis was carried out on eight (8) roads of the fifth (5) town of Usme in the city of Bogotá, which were built with conventional pavement structures (granular bases and granular sub-bases) and others that were intervened with recycled materials - RAP. Lately it has been chosen to carry out techniques for high performance tests, known as non-destructive tests, Among these tests, the use of the FWD impact deflectometer stands out, whose function is to analyze the structural condition of the pavements by interpreting the deflections produced under dynamic loads that simulate the effect of traffic and then perform retro calculations that are evaluated at through indicators to obtain modules and structural numbers.

Keywords:. RAP, Back calculation, Resilient modulus, Deflectometry, Pavement.

I.Introducción

Durante los últimos años en la ciudad de Bogotá, se ha venido implementando para la construcción y rehabilitación de vías secundarias, materiales alternativos y/o reciclados tales como asfaltos reciclados (RAP), losas de concreto entre otros, que al final terminan haciendo un papel importante al sustituir los conocidos materiales convencionales tales como los agregados pétreos Bases y Sub-bases granulares, producto de la explotación de canteras. Este trabajo buscó realizar una comparación en tres tipos de vías de pavimento flexible rehabilitadas con las mismas condiciones de tráfico y sector, las cuales fueron construidas con materiales convencionales (Bases granulares, Sub-bases granulares y piedra rajón) y otras con materiales reciclados (pavimentos de asfaltos reciclados); esta comparación se hizo realizando un ensayo in situ no destructivo FWD (FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER), en donde se determinó el comportamiento de las estructuras hallando los módulos resilientes de cada pavimento y números estructurales efectivos de la subrasante, realizando un muestreo de las deflexiones que generó una carga de 40 kN halladas por distintos sensores dispuestos en el deflectómetro de impacto.

Para la determinación de los módulos resilientes (M_r) y números estructurales (S_n) fue necesario la utilización de metodologías de retrocálculo y software especializados. En este documento se ejecutaron retrocálculos por los métodos AASHTO, YONAPAVE Y LUKANEN de forma analítica y mediante el programa de retrocálculo BAKFFA de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION / FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, los cuales se compararon con módulos y números estructurales hallados con parámetros teóricos.

Se seleccionaron ocho vías ubicadas en Bogotá exactamente en la localidad de Usme, identificadas cada una con un Código de Identificación vial (CIV); dos CIV diseñados por capas de Base y Sub-base granular (PG1 y PG2), tres CIV diseñados con material de RAP (PR1, PR2 y PR3) y tres CIV diseñados con base y sub-base granular con un mejoramiento de rajón (PGr1, PGr2 y PGr3); en estas vías se analizaron las deflexiones obtenidas realizando los cuencos generados en cada uno de los 35 puntos tomados; además se realizó un análisis del costo aproximado por metro cuadrado (m^2) de los tres tipos de estructuras.

Con lo anterior, se determinó la viabilidad de utilizar materiales reciclados con menores espesores en las estructuras de pavimentos, los cuales influyen de manera concluyente en el comportamiento estructural e implementación para su uso en la rehabilitación y construcción de vías secundarias en Bogotá.

II.Metodología

Este trabajo contempló el estudio de dos tipos de estructuras de pavimentos, estructuras de pavimentos flexibles convencionales a base de materiales granulares y estructuras de pavimentos flexibles a base de RAP estabilizado, los cuales se analizaron mediante ensayo IN SITU no

destructivo FWD, se dividió en cuatro etapas; la primera la recopilación de información de trabajos de medición de deflexiones para pavimentos reciclados y convencionales a nivel mundial y nacional utilizando el FWD, la segunda etapa se efectuó el trabajo de campo haciendo el ensayo IN SITU de deflectometría FWD para ocho tramos viales de la localidad de Usme, la tercera etapa se realizó obtenciones de módulos y números estructurales por medio de Retrocálculo y en la última etapa se realiza el análisis de los datos, y se efectúa una comparación de costos para cada estructura de pavimento.

A. Recopilación de la información

Se realizó una base de datos de investigaciones realizadas utilizando FWD [12] a nivel mundial y a nivel nacional, en donde se tiene la información de las deflexiones obtenidas, además se contó con las hojas de vida de los segmentos evaluados las cuales fueron proporcionadas por la Unidad Administrativa Especial De Rehabilitación Y Mantenimiento Vial – UAERMV la cual permitió conocer las condiciones de diseño y parámetros iniciales de los segmentos viales a evaluados.

B. Selección de vías a estudiar

Para esta investigación se identificaron ocho segmentos viales con una longitud total de aproximadamente 635 metros. Estos tramos se dividen en dos categorías, pavimentos flexibles convencionales y pavimentos flexibles reciclados de acuerdo a su estructura. Su clasificación se realizó dependiendo las hojas de vida suministradas por la UAERMV. Estos segmentos viales se localizan en la Localidad de Usme, UPZ Alfonso López, las cuales fueron intervenidas por parte de la UAERMV.

C. Retrocálculo

El retrocálculo de los pavimentos se realizó mediante las metodologías AASHTO, YONAPAVE y LUKANEN. La metodología AASHTO considera como variable principal el cálculo del módulo resiliente de la estructura del pavimento “Ep” y con base en ello determina los números estructurales efectivos y el módulo de la subrasante tomando en cuenta solo los datos de los sensores que estén por encima del 70% del cuenco de deflexión.

La metodología YONAPAVE se basa en el modelo de Hoog el cual estudia el pavimento como si se tratase de una sola capa multigranular. En este método se calcula el parámetro AREA que corresponde a la interfaz que se desarrolla por debajo del cuenco de deflexiones y la longitud característica, la cual se define como el punto de inflexión de la curva que forma el cuenco. A partir de esto se precisa el número estructural efectivo y el módulo resiliente por retrocálculo.

Finalmente, el método LUKANEN también se basa en el modelo de Hogg. Aquí se calcula el “R50” que corresponde a la distancia horizontal desde DO donde la deflexión es la mitad de la deflexión principal; también, como en el método YONAPAVE se evalúa la longitud característica y con ello se determina el número estructural efectivo y el módulo resiliente por retrocálculo.

D. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó haciendo comparaciones de los cálculos obtenidos en cada método, además, como elemento adicional se hizo el cálculo de módulos y números estructurales teóricos con parámetros asumidos. Como herramienta tecnológica se utilizó el software BAKFAA para obtener módulos de las capas del pavimento y de la subrasante. Entre los análisis realizados se encuentra la comparación de módulos y números estructurales tanto por método de retrocálculo como por tipo de estructura (granulares, granulares con rajón y rap). Con lo anterior se trató de identificar que estructura se comportó mejor durante el periodo en uso y que falencias tiene a nivel de materiales utilizados y subrasante. Conjuntamente se estudiaron las deflexiones obtenidas ya que entre mayor sean las mismas peor condición tiene el pavimento y de esto dependerá la conformación del cuenco tanto de cada punto tomado como de cada CIV estudiado.

III.RESULTADOS

Una vez realizado el estudio es posible mostrar los siguientes resultados:

Las deflexiones centrales D0 presentadas en la mayoría de las estructuras, muestran una condición de alarma debido a que estas varían en rangos superiores a los 500 μ m, lo que indica que la subrasante está absorbiendo una gran cantidad de cargas [13], pudiéndose presentar fallas futuras con presencia de ahuellamientos, hundimientos locales y daños considerable a la estructura de los pavimentos, aclarando que el pavimento reciclado PR3 presenta unas deflexiones D0 dentro del rango del comportamiento estructural bueno (Tabla 1).

Tabla 1. Evaluación de parámetros D0, SCI, BDI y BCI.

Código VIA	Promedio Deflexión (μ m)							SCI	BDI	BCI
	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6			
	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8			
PGr1	627.05	314.68	102.24	37.21	16.83	11.69	9.36	312.36	212.44	65.04
PGr2	715.44	346.82	118.69	55.86	25.05	15.05	10.50	368.62	228.13	62.83
PGr3	673.22	359.42	134.31	50.64	29.21	17.87	13.04	313.80	225.11	83.66
PG1	576.12	366.24	183.26	96.58	65.64	49.05	40.81	209.89	182.97	86.69
PG2	513.40	313.85	145.95	56.25	34.82	25.41	18.24	199.55	167.90	89.71
PR1	534.11	373.75	225.10	107.98	77.61	53.44	38.04	160.36	148.64	117.12
PR2	750.55	439.25	221.65	95.08	61.75	40.99	31.16	301.30	217.59	126.57
PR3	393.06	292.94	163.63	67.83	51.41	35.96	28.11	100.12	129.31	95.80

Fuente: Elaboración propia

El índice de curvatura de la superficie SCI, indicó un mejor comportamiento de los pavimentos con materiales reciclados en la capa superior de rodadura, en comparación de los pavimentos con materiales convencionales, en donde PR1 y PR3 presentan un comportamiento estructural bueno con deflexiones menores 200 μ m, mientras que los pavimentos con materiales convencionales PGr1, PGr2, PGr3, PG1 y PG2 se encuentran en una condición estructural de alarma presentando deflexiones mayores 250 μ m (Tabla 2).

Tabla 2. Selección de estructuras para evaluación de parámetro AREA.

CODIGO CIV	AREA (mm)	D0 (μ m)	Parámetros	
			AN0.9 (mm)	Pavimento
PG1	473	576	baja	débil
PG2	448	513	baja	débil
PR1	552	534	baja	débil
PR2	444	740	baja	débil
PR3	541	393	baja	débil
PGr1	365	627	baja	débil
PGr2	363	715	baja	débil
PGr3	398	673	baja	débil

Fuente: Elaboración propia

Los módulos resilientes hallados por retrocálculo para las estructuras granulares, estuvieron por encima del módulo resiliente teórico de diseño, lo cual indica que el estado de la subrasante se ha mantenido desde su etapa de construcción, mientras que los módulos resilientes para los pavimentos con estructuras recicladas nos dan una voz de alarma, ya que los módulos hallados por retrocálculo por los métodos AASHTO y LUKANEN presentan una disminución a los teóricos, lo que indica el desmejoramiento de la subrasante posiblemente a factores externos del sector, como se observó en el recorrido, ya que estas estructuras presentan intervenciones posteriores a la construcción (Fig. 1a y 1b).

Las estructuras de pavimento granulares con rajón, presentaron números estructuras efectivos N_{Sefe} (fig.2), menores a los números estructurales calculaos N_{Scal} de diseño, lo que indica que estos pavimentos necesitan de una intervención inmediata, mientras que los pavimentos granulares y reciclados, presentan números estructurales efectivos N_{Sefe} mayores a los números estructurales de diseño N_{Scal}, lo que indica que estas estructuras se han comportado mejor durante su periodo de servicio.

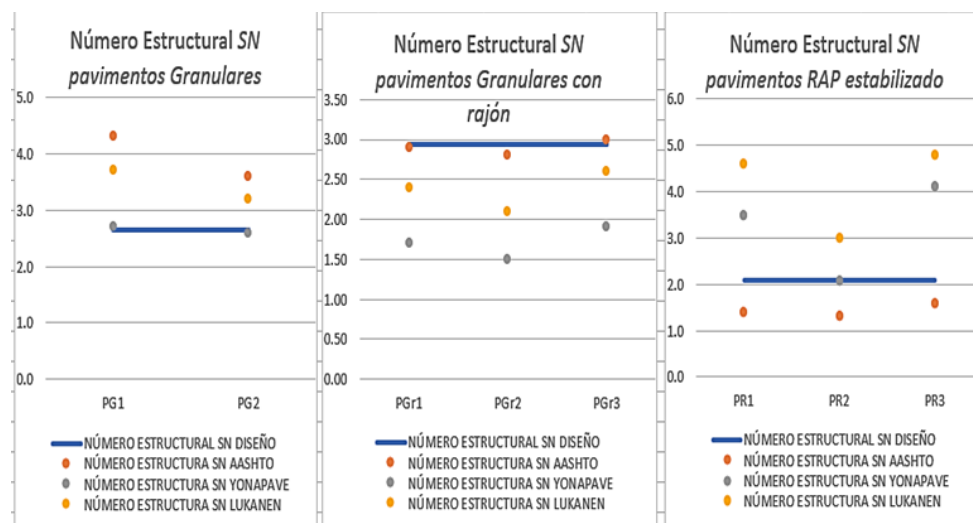


Fig. 2. Comparación de Números Estructurales N_{Sefe} vs N_{Scal}
Fuente: Elaboración propia

Se realizó la comparación de costos de los tres tipos de estructuras evaluadas en este estudio, donde se establece que la construcción de los pavimentos con materiales reciclados es más económica en un 38% que las estructura con materiales convencionales y mejoradas con geo textil, y en un 34% que las estructuras con materiales granulares con mejoramiento con piedra rajón (fig.3).

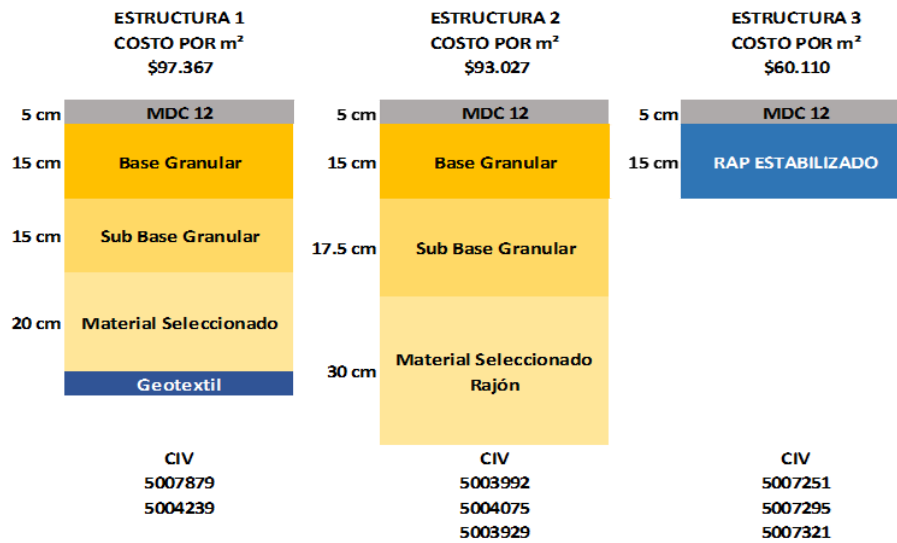


Fig.3. Comparación costos estructuras evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

1. Si se compara el costo de la base granular con la base en RAP estabilizado, se tiene que este último es aproximadamente un 25% mayor. No obstante, al comparar los módulos estimados mediante retrocálculo con el programa BAKFAA se tiene que el módulo promedio de la capa de RAP estabilizado es mayor entre 3.4 y 4.3 veces que el de los materiales granulares y en el peor de los casos del doble como mínimo.
2. El RAP estabilizado constituye una alternativa económicamente viable cuyo impacto no es sólo reducir espesores de intervención sino además tener un mejor apoyo para las capas de concreto asfáltico de rodadura a la vez que se recicla eficientemente un material de residuo.
3. La implementación de materiales reciclados en la construcción de pavimentos es importante con el fin de minimizar los impactos ambientales en la explotación de agregados pétreos, haciendo un gran aporte en términos de sostenibilidad en la ejecución de los proyectos de ingeniería.
4. Resulta importante realizar la comparación de estructuras de pavimento construidas con diferentes tipos de materiales con el fin de verificar el comportamiento de los mismos y con ello determinar la viabilidad y continuidad en la colocación de capas de base con materiales reciclados como el RAP.

Referencias

- [1] N. Ainalem, N. Hamid, L. Imad. Dynamic analysis of falling weight deflectometer. Australia, 2016
- [2] J. Sulewskaa, B. Grzegorz B. Application of the Light Falling Weight Deflectometer (LWD) to Test Aggregate Layers on Geosynthetic Base. Rusia, 2017
- [3] M. Vânia, F. Simona, A. de Lurdes, S. Mercedes. Evaluation of a highway pavement using non-destructive tests: Falling Weight Deflectometer and Ground Penetrating Radar. España, 2016
- [4] A. El Ayadi, B. Picoux, G. Lefeuvre-Mesgouez, A. Mesgouez, C. Petit. An improved dynamic model for the study of a flexible pavement. Francia, 2011
- [5] P. Christina P., G. Konstantina, C. Brad, L. Andreas L. Incorporation of GPR data into genetic algorithms for assessing recycled pavements. Grecia, 2016.
- [6] A. Montepara, G. Tebaldi, A. Marradi, G. Betii. Effect on Pavement Performance of a Subbase Layer Composed by Natural Aggregate and RAP. Italia, 2012
- [7] S. Joo-Won, K. Soo-Il K, C. Jun-Sung, P. Dae-Wook. Evaluation of layer properties of flexible pavement using a pseudo-static analysis procedure of Falling Weight Deflectometer. Korea, 2009
- [8] S. Hudsadin, S. Yasothorn. Dynamic soil models for backcalculation of material properties from falling weight deflectometer deflection data. Taylandia, 2017
- [9] U. Mesbah, A. Rafiqul. Incorporation of GPR and FWD into pavement Mechanistic-Empirical design. University of New Mexico. Estados Unidos, 2017
- [10] S. Priyanka, T. Erol, L. Scott. Nondestructive Deflection Testing based Mechanistic- Empirical Overlay Thickness Design Approach for Low Volume Roads: Case Studies. Estados Unidos, 2016
- [11] M. Hoffman. A Direct Method for Evaluating the Structural Needs of Flexible Pavements Based on FWD Deflections. Estados Unidos, 2003.
- [12] E. Horak, S. Emery. Evaluation of airport pavements with FWD deflection bowl parameter benchmarking methodology. 2nd European Airport Pavement Workshop, 2009
- [13] E. Horak, S. Emery. Evaluation of airport pavements with FWD deflection bowl parameter benchmarking methodology. 2nd European Airport Pavement Workshop, 2009
- [14] O. Gomez. Criterios de optimización del diseño de sobrecarpetas asfálticas para Bogotá, basados en ensayos no destructivos. Bogotá, Colombia, 2009

Los autores:

Freddy Arturo Ocaña Ortiz

<https://orcid.org/0000-0003-3384-7569>

freddyarturo28@gmail.com / focanaortiz@uniminuto.edu.co

Corporación universitaria Minuto de Dios- UNIMINUTO, Zipaquirá -Colombia

Oscar Fabricio Cruz Rubio

<https://orcid.org/0000-0003-3238-9201>

oscar_cr19@hotmail.com

Universidad Santo Tomás, Colombia