

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE DEFLECTOMETRÍA Y ENSAYOS DE CBR, RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE

Aplicación al tramo Túnel Falda de la Queñua – San Lorencito

SOTO SALGADO LAURA¹ SORUCO PARAVICINI KATERINE²

1: Docente investigadora, 2: Investigadora junior

Dpto. de Topografía y Vías – Carrera de Ingeniería Civil – Facultad de Ciencias y Tecnología – UAJMS

Correo electrónico: laraksosal@gmail.com - katerinsoruco@gmail.com

RESUMEN

El artículo recopila las diferentes metodologías para caracterizar la resistencia de la subrasante y la capacidad estructural efectiva de una estructura de pavimento.

Históricamente se ha utilizado el ensayo de valor soporte (CBR) para caracterizar la subrasante y con ello diseñar y valorar el paquete estructural. Este tipo de ensayo evalúa la calidad del suelo con base a su resistencia bajo condiciones de humedad y densidad controladas, y a través de correlaciones se determina el Módulo Resiliente.

Asimismo se analiza el comportamiento del sistema pavimento – subrasante del tramo Túnel Falda de la Queñua – San Lorencito.

Se plantea la obtención del Módulo Resiliente (MR) mediante el equipo no destructivo conocido como Viga Benkelman, para medir las deflexiones generadas en el pavimento a partir de la aplicación de una carga móvil que simula la aplicación de cargas cíclicas generadas por el paso de los vehículos, analizando la deflexión final en la subrasante. Estas deflexiones son analizadas e interpretadas a través de un modelo matemático para calificar y cuantificar el estado estructural del pavimento.

Al comparar los Módulos Resilientes obtenidos por ambas metodologías, se encontraron diferen-

cias entre uno y otro método. El análisis de estos resultados nos ayudará a determinar características de campo más reales para una posible aplicación en la evaluación de la estructura o bien para determinar el tipo de mantenimiento que se deba aplicar a la estructura ante la presencia de fallas.

PALABRAS CLAVE

Módulo Resiliente, Suelo, Viga Benkelman.

ABSTRACT

The article compiles the different methodologies to characterize the resistance of the subgrade and the effective structural capacity of a pavement structure.

Historically the support value test (CBR) has been used to characterize the subgrade and thereby design and value the structural package. This type of test evaluates soil quality based on its resistance under controlled humidity and density conditions, and through correlations the Resilient Module is determined.

The behavior of the pavement - subgrade system of the tunnel section Skirt of the Queñua - San Lorencito is also analyzed.

It is proposed to obtain the Resilient Module (MR) using non-destructive equipment known as Viga Benkelman, to measure the deflections

generated in the pavement from the application of a mobile load that simulates the application of cyclic loads generated by the passage of the Vehicles, analyzing the final deflection in the subgrade. These deflections are analyzed and interpreted through a mathematical model to qualify and quantify the structural condition of the pavement.

When comparing the Resilient Modules obtained by both methodologies, differences between the two methods were found. The analysis of these results will help us to determine more real field characteristics for a possible application in the evaluation of the structure or to determine the type of maintenance that must be applied to the structure in the presence of faults

KEYWORDS

Resilient Module, soil, Benkelman Beam.

INTRODUCCIÓN

Con la información de deflexiones obtenida se puede determinar, con fines de seguimiento, la capacidad estructural de un modelo estructural de pavimento en cualquier momento de su vida de servicio, y conocer su desempeño, así como establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación.

En la medida en que un pavimento complete su periodo de diseño, construcción y la necesidad de preservarlo, se incrementa la necesidad de evaluar la capacidad estructural del pavimento.

Ante esta situación y dada la complejidad y altos costos que implica la realización de los ensayos del Módulo Resiliente (MR), parámetro que representa el comportamiento de los materiales que conforman el pavimento ante la acción de cargas de tránsito a la que se ven sometidas, se

ha optado por obtener este parámetro a partir de correlaciones que determinan el Módulo Resiliente (MR) a través de ensayos de valor de soporte relativo (CBR) para caracterizar las capas del pavimento. No obstante, y con la finalidad de minimizar los tiempos requeridos e incrementar el número de mediciones, se propone la estimación del Módulo Resiliente (MR) a partir de ensayos no destructivos, los cuales se basan en la determinación de la capacidad estructural del pavimento mediante un análisis de deflectometría.

Con base a las deflexiones obtenidas es posible por medio de metodologías de retrocálculo determinar el Módulo Resiliente (MR) de las capas de la estructura de pavimento, minimizando de esta forma tiempo y costos, y reduciendo los procedimientos destructivos que impliquen la rotura de la vía y la extracción de muestras de campo.

Esta investigación busca mostrar metodologías mecánico - empíricas que permitan comparar los resultados obtenidos con los módulos determinados a partir de ensayos de laboratorio, analizando la relación entre ambas metodologías a partir de la influencia de diferentes factores como ser: el contenido de humedad de los materiales, la teoría de capas elásticas y la temperatura, que ayuden sustancialmente a la interpretación y manipulación de los datos recolectados.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Mediante el presente proyecto de investigación se pretende lograr un análisis de deformaciones de los pavimentos mediante el estudio de comparar los resultados de valores de Módulos Resilientes obtenidos con la Viga Benkelman y los determinados con el valor de soporte CBR.

Objetivo General.

Comparar del Módulo Resiliente (MR) obtenido a través de ensayos de laboratorio con los obtenidos mediante la Viga Benkelman, para establecer la correspondencia entre ellos, a través de las medir deflexiones.

Objetivos Específicos.

- Evaluar el procedimiento de cálculo para la determinación del Módulo Resiliente a través de ensayos de laboratorio y mediante ensayos no destructivos.
- Determinar el Módulo Resiliente a partir del modelo matemático de Hogg Simplificado para cada uno de los puntos donde se realizó el ensayo con la Viga Benkelman.
- Realizar el ensayo de valor soporte CBR del suelo en laboratorio a través de muestras obtenidas de los diferentes bancos para caracterizar cada una de las capas que conforman el pavimento.
- Evaluar la determinación y el comportamiento resiliente de los materiales de las capas del pavimento en base a datos obtenidos por la Viga Benkelman y los obtenidos en laboratorio.

CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES

CONCEPTO DE DEFLEXIÓN.

La deflexión de un pavimento se define como el valor que representa la respuesta estructural ante la aplicación de una carga vertical externa. También se define como el desplazamiento vertical del paquete estructural de un pavimento ante la aplicación de una carga; generalmente, la carga es

producida por el tránsito vehicular. (Salgado Torres, 2002.)

Cuando se aplica una carga en la superficie no solo se desplaza el punto bajo su aplicación, produciendo una deflexión máxima, sino que también se desplaza una zona alrededor del eje de aplicación de la carga, que se denomina cuenco de deflexión.

Figura 1: Esquema de un cuenco de deflexión



La deflexión permite ser correlacionada con la capacidad estructural de un pavimento, de manera que si la deflexión es alta en un modelo estructural, la capacidad estructural del modelo de pavimento es débil o deficiente, y lo contrario, si la deflexión es baja, quiere decir que el modelo estructural del pavimento tiene buena capacidad estructural.

MODELO DE HOGG.

En 1944, A. H. A. Hogg presentó la solución matemática del modelo que lleva su nombre. El modelo de Hogg está basado en un sistema hipotético de dos capas: una delgada, con cierta rigidez a la flexión y horizontalmente infinita, y otra elástica, homogénea e isotrópica, de espesor que puede ser infinito o limitado por una base rígida, horizontal y perfectamente rugosa, que le sirve de sustento.

Deflexiones en el modelo de Hogg. El procedimiento con el modelo de Hogg usa la deflexión en el centro de la carga puntual y una de las deflexiones adicionales fuera del punto inicial de

aplicación de la carga. Hogg demostró que la distancia radial donde la deflexión es aproximadamente la mitad de la deflexión bajo el punto inicial de carga era eficaz para eliminar la tendencia de valoración o error estadístico de los parámetros básicos del modelo. Sus cálculos consideran variaciones en el espesor del pavimento y la relación entre la rigidez del pavimento y la rigidez de la subrasante, ya que la distancia en donde la deflexión es la mitad de la desviación máxima está controlada por estos parámetros. Tal como se describe, en 1944 Hogg presentó el análisis de una losa de espesor delgado apoyada sobre una fundación elástica de espesor finito o infinito.

DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL CBR

El CBR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base a su resistencia, mediada a través de un ensayo de placa a escala.

CBR significa en español Relación de Soporte California, por las siglas en inglés de “California Bearing Ratio”, aunque en algunos países se conoce también este ensayo como Valor Relativo del Soporte (VRS).

La finalidad de este ensayo CBR, es determinar la capacidad de soporte de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El ensayo mide la resistencia al Esfuerzo Cortante (punzonamiento) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un % de relación de soporte.

El ensayo CBR es el ensayo más utilizado, el cual representa la relación, en porcentaje, entre el esfuerzo requerido para penetrar un pistón a cierta profundidad dentro del suelo ensayado y el esfuerzo requerido para penetrar un pistón igual,

a la misma profundidad, dentro de una muestra patrón de piedra triturada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de aplicación parte de una lógica que se basa en la determinación de la deflexión de la estructura del pavimento a partir de una auscultación empleando métodos no destructivos para determinar el comportamiento del sistema pavimento – subrasante, así como de establecer una posible aplicación en la rehabilitación y evaluación de pavimentos, mediante modelos matemáticos a través de los cuales es posible determinar parámetros como el Módulo Resiliente (MR) que caracteriza de mejor manera el comportamiento del pavimento.

En el transcurso de este proceso de evaluación se tomó en cuenta aspectos imprescindibles como ser la caracterización de los materiales que conforman la estructura del pavimento en este tramo y la capacidad de recuperación del pavimento ante la aplicación de cargas móviles.

Con el fin de tomar en cuenta la naturaleza cíclica de las cargas que actúan en los materiales que conforman una estructura de pavimento, así como el comportamiento no lineal y resiliente de los materiales, investigadores y diseñadores han realizado en el mundo varios trabajos experimentales, tanto en modelos a escala natural como en muestras de material probadas en el laboratorio, obteniéndose valiosa información sobre el comportamiento esfuerzo - deformación de los materiales en respuesta del suelo a las diferentes sollicitaciones.

Estas deformaciones que surgen por el paso de vehículos son de recuperación instantánea, denominadas así deformaciones elásticas, sin embargo, existe una pequeña deformación permanente

denominada plástica, la cual al someter la muestra bajo ciclos de carga y descarga se va acumulando; debe hacerse notar el hecho de que en ciclos intermedios la deformación permanente para cada ciclo disminuye, hasta que prácticamente desaparece en los ciclos finales. La muestra llega así a un estado tal en que toda la deformación es recuperable proporcional a la carga y puede ser considerada como elástica. Para fines de análisis se considera que el comportamiento de los materiales es fundamentalmente elástico durante cada ciclo de carga, por lo que se caracteriza como un comportamiento resiliente. De aquí se desprende el concepto de módulo de resiliencia, el cual se basa en la deformación recuperable bajo la acción repetida de cargas y está definido como la relación entre el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial y la correspondiente deformación axial recuperable.

La metodología actual para diseño de pavimentos utilizada por el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) considera al parámetro Módulo Resiliente (MR) como la base para caracterizar el comportamiento de los materiales constitutivos de la sección de una carretera tanto para materiales finos como granulares.

Por lo expuesto anteriormente el especialista a cargo del diseño, construcción y conservación de tales estructuras, debe de tener el conocimiento básico de lo que el parámetro Módulo Resiliente (MR) representa, de la prueba de laboratorio y metodologías a partir de las cuales se obtiene y de los factores que hay que considerar para la selección del valor adecuado para su uso en una determinada metodología de diseño.

Para la determinación de este parámetro el proceso de evaluación implica la obtención de una

serie de datos recopilados únicamente mediante mediciones realizadas en campo y en laboratorio con muestras de suelo utilizando instrumentos no destructivos.

TÉCNICAS

Las técnicas que se emplearon para obtener la información necesaria para poder desarrollar el presente trabajo fueron las siguientes:

- **Ensayos:** pruebas o técnicas experimentales que tienen una metodología de “medios” instrumento o equipo con el cual realizan los ensayos para determinar ciertas características.

Para el presente trabajo se realizaron 9 ensayos de valor soporte CBR para determinar las características de los materiales que conforman cada una de las capas del pavimento.

- **Medición:** La medida que resulta de la aplicación de una acción en base a un patrón.

Se evaluó la deflexión de la estructura del pavimento a través de la Viga Benkelman tomando 1 prueba por cada segmento.

Los segmentos en estudio se realizaron cada 50 m de los 15 kilómetros propuestos.

- **Comparación:** Se efectuó una comparación entre los datos obtenidos por ambas metodologías que permitan establecer un análisis de deformación del pavimento.

RESULTADOS

Al realizar la evaluación estructural del pavimento nos basamos en el modelo matemático de HOGG SIMPLIFICADO donde se realizó el análisis de las curvas de deflexiones medidas, para este análisis de curvas se tuvo como base

dos principios básicos:

- a) La deflexión máxima como indicador de la capacidad de soporte del suelo de fundación.
- b) El radio de curvatura que adopta el pavimento nos indica la calidad y resistencia de las capas superiores del pavimento.

DEFLEXIONES

En los resultados obtenidos se pudo verificar que la deflexión máxima no supera los 70 (0.01mm) para ninguno de los tramos en estudio encontrándose con deflexiones que no superan la deflexión admisible con la que fue diseñada la capa subrasante o suelo de fundación, dándonos a conocer que la capacidad soporte del suelo de fundación se encuentra en óptimas condiciones.

Se verifica que las deflexiones máximas determinadas superan solo en cierto porcentaje a la deflexión característica teniendo como resultados los siguientes:

- Para el tramo 13+520 – 18+500 la Deflexión Máxima (Do) supera en un 8,01% la Deflexión Característica.
- Para el tramo 08+520 – 13+500 Deflexión Máxima (Do) supera en un 12,67% la Deflexión Característica.
- Para el tramo 42+230 – 47+960 Deflexión Máxima (Do) supera en un 9,46% la Deflexión Característica.

Analizando la variación que se tuvieron en las deflexiones máximas a lo largo de los 3 tramos estudiados, cuyos resultados varían entre 20 (0,01 mm) y 50 (0,01 mm) se concluye que estas diferencias se deben a la variación de la temperatura entre un tramo y otro, ya que tanto la temperatu-

ra del pavimento como la temperatura ambiente además del tránsito tienen incidencia en la determinación de las deflexiones.

RADIO DE CURVATURA

El Radio de Curvatura es una característica fundamental para determinar la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas del pavimento al aplicar una carga puntual o móvil, por ello es de gran importancia determinar y analizar este parámetro en la evaluación estructural del pavimento.

En el caso de valores que se encuentren entre 100 m y 200 m se indica un comportamiento de suficiencia estructural, en el caso de curvas superiores a 300 m se indica un adecuado comportamiento estructural y para valores superiores a 600 m comprenden una estructura sumamente adecuada.

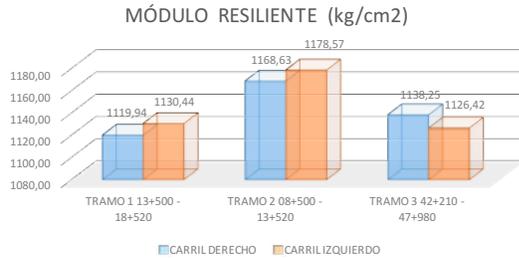
Los valores de Radio de Curvatura que se presentaron en ninguno de los casos es menor a 80 m, encontrándose valores entre 131 m y 579 m, con valores promedios entre 200 m y 300 m demostrando un adecuado comportamiento estructural de las capas superiores de la estructura del pavimento flexible que se encuentran sobre la subrasante.

MÓDULO RESILIENTE

El Módulo de elasticidad o Módulo de Resiliencia del suelo de fundación que participa en la deformación del sistema pavimento – subrasante, es una característica fundamental para verificar el diseño del pavimento. El mismo se lo obtuvo a través del Modelo de HOGG SIMPLIFICADO que es considerado como el instrumento teórico para la interpretación de curvas de deflexión dándonos como resultado los siguientes Módulos de

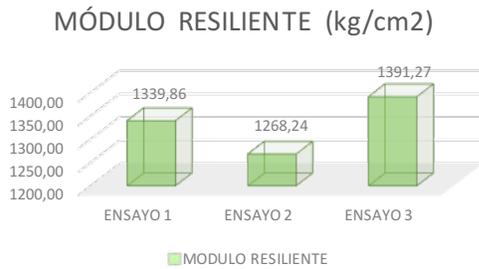
Resiliencia ponderados:

FIGURA 2: Valores del módulo resiliente alcanzados método viga benkelman



Al realizar el ensayo de validación Relación de Soporte del Suelo CBR en laboratorio (ASTM D1883; AASHTO T193) se obtuvo valores de CBR de la subrasante mediante los cuales se determinaron los valores de Módulos de Resiliencia para el tramo en estudio:

FIGURA 3: Valores del módulo resiliente a partir de ensayos de valor soporte CBR



El presente trabajo de investigación tiene como objetivo comparar los valores del Módulo Resiliente obtenidos por medios de ensayos de laboratorio y procedimientos de deflectometría, para tal caso, se analizarán los resultados arrojados por cada uno de los métodos previamente mencionados, tomando una media para cada carril en los 3 tramos estudiados. A continuación se muestra un resumen de los valores alcanzados.

TABLA I: Cuadro comparativo del módulo resiliente.

DEFLECTOMETRÍA				
TRAMO	CARRIL DERECHO		CARRIL IZQUIERDO	
13+500-18+520	1119,938	Kg/cm²	1130,400	Kg/cm²
08+500-13+520	1168,632	Kg/cm²	1178,568	Kg/cm²
VALOR SOPORTE CBR				
1	1339,855	Kg/cm²	1339,855	Kg/cm²
2	1268,239	Kg/cm²	1268,239	Kg/cm²
3	1391,274	Kg/cm²	1391,274	Kg/cm²

Pavimento.

El mismo se lo obtuvo a través del Modelo de HOGG SIMPLIFICADO que es considerado como el instrumento teórico para la interpretación de curvas de deflexión dándonos como resultado los siguientes Módulos de Resiliencia ponderados:

Con el fin de analizar la dispersión de los valores del Módulo Resiliente obtenido por ambas metodologías,

Con el fin de analizar la dispersión de los valores del Módulo Resiliente obtenido por ambas metodologías, en las siguientes figuras se compilan los resultados del Módulo Resiliente retrocalculados según los cuencos de deflexión, así como los resultados obtenidos en laboratorio para los diferentes contenidos de humedad a las cuales fueron ensayadas las probetas.

Estos resultados se muestran para cada uno de los tramos en estudio.

FIGURA 4: Comparación del módulo resiliente obtenido por ensayos de laboratorio y de deflectometría (tramo 13+500 – 18+520)

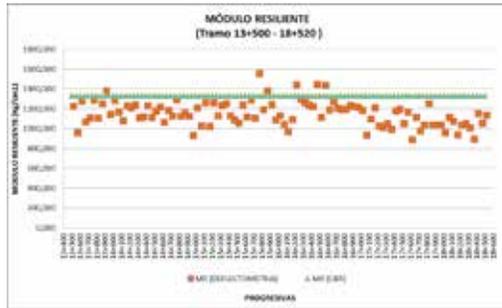


FIGURA 5: Comparación del módulo resiliente obtenido por ensayos de laboratorio y de deflectometría (tramo 08+500 – 13+520)

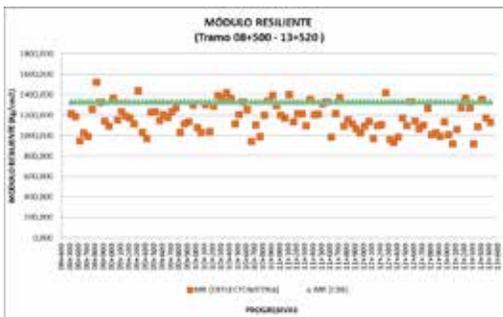
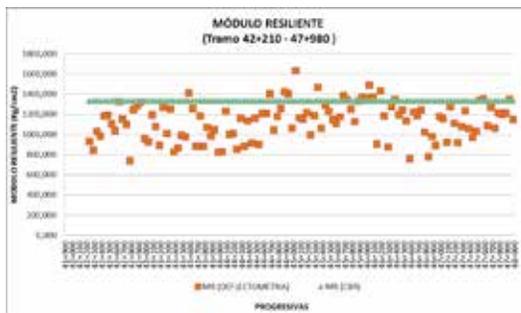


FIGURA 6: Comparación del módulo resiliente obtenido por ensayos de laboratorio y de deflectometría (tramo 42+210 – 47+980)



En principio se observa que los valores de Módulo Resiliente retrocalculados por deflectometría difieren en sus resultados para cuencos de deflexión medidos en horas de la mañana o de la tarde; lo que expresa cierta dependencia entre éstos y la temperatura ambiente a la que fueron realizadas las pruebas de deflectometría.

Estableciendo una correspondencia de los valores obtenidos tanto por deflectometría y laboratorio, se denota una variación entre una y otra metodología. Estas diferencias de módulo oscilan en un rango de 0,02 a 5.89%, siendo en su mayoría los valores obtenidos por deflectometría menores a comparación de los obtenidos en laboratorio.

Esto debido a que por una parte, los resultados de laboratorio representan una medida directa en las propiedades del material de subrasante a comparación de mediciones indirectas del Módulo ofrecidas a partir de datos de deflectometría, ensayo que se ve influenciado directamente por las condiciones ambientales como ser temperatura y estacionalidad y por condiciones del tráfico entre otros.

DISCUSIÓN

Evaluando conceptos teóricos en los que se basan ambas metodologías de evaluación estructural del pavimento como son el análisis de deflectometría y ensayos de valor soporte CBR, se establecen en términos generales que el Módulo Resiliente (Mr) de una subrasante, obtenido por medio del cuenco de deflexión presentan una variación con respecto al Módulo Resiliente de laboratorio, esto se debe a que la deflexión permite ser correlacionada con la capacidad estructural de un pavimento, de manera que si la deflexión es alta en un modelo estructural, la capacidad estructural del pavimento es débil o deficiente, y lo contrario ocurre si la deflexión es baja quiere decir que el modelo estructural de un pavimento tiene una buena capacidad estructural.

Como equipo para la medición de deflexiones en campo, se aplica la viga Benkelman la cual genera un cuenco de deflexión; la caracterización del cuenco de deflexión determina una serie de pa-

rámetros, los cuales son corregidos por factores ambientales como temperatura y estacionalidad para la determinación del Módulo Resiliente de la estructura de un pavimento. En cambio el método AASTHO es un método simplificado para estimar el Modulo Resiliente a través de diferentes fórmulas empíricas de correlación.

Con el ensayo de deflectometría a través del modelo matemático de HOGG SIMPLIFICADO, se obtuvo un valor del Módulo Resiliente ponderado para los 3 tramos en estudio de 1143,702 Kg/cm² >> 900 kg/cm² valor que nos indica se trata de una subrasante buena, encontrándose en óptimas condiciones ya que todas las deformaciones que se presentan son recuperables en el tiempo.

Se establece la validación de estos resultados por deflectometría ya que se encuentran próximos a los valores determinados en función a datos de deflexiones medidos por la ABC para una evaluación del estado del pavimento del tramo San Lorencito – San Lorenzo.

Se realizó la caracterización de suelos y ensayos de Valor Soporte CBR para cada una de las capas que conforman el pavimento. El material utilizado para el desarrollo de los ensayos se extrajo de bancos.

De estos laboratorios se comprobó para cada capa los valores de CBR estimados en las Especificaciones Técnicas del Proyecto, dando como resultado para la capa base un CBR al 100% igual a 94,53; para la capa Subbase un CBR al 97% igual a 52,50 y para la Subrasante un CBR al 95% igual a 22,93.

Con el valor de CBR del suelo de subrasante se obtuvo un valor del Módulo Resiliente ponderado para todo el tramo igual a 1333,123 Kg/cm².

De acuerdo a los valores obtenidos por ambas metodologías se establece que el comportamiento de la subrasante se encuentra en óptimas condiciones ya que se cumplieron las especificaciones técnicas de deflectometría, el Coeficiente de Variación de los valores de Deflexión Máxima no deberá ser mayor de 30% (varía entre 8,576 % al 14,478 %), el Módulo Resiliente promedio deberá ser mayor o igual a 900 Kg/cm² (se encuentra entre 1132,34 Kg/cm² a 1173,6 Kg/cm²).

Se ha observado que el Módulo Resiliente no es una propiedad constante sino que depende de muchos factores: compactación, presión de inflado, carga por eje, velocidad, nivel de tránsito diario como también de los materiales que constituyen las capas del pavimento y las condiciones ambientales.

Al realizar una comparación entre los Módulos obtenidos por ensayos de valor soporte CBR y los medidos por deflectometría, se analiza una variación entre resultados que oscilan entre el 0,02 a 5.89%, Se concluye que una de las posibles causas para que los resultados obtenidos en laboratorio arrojen valores más bajos, se debe a que para el ensayo de valor soporte CBR se aplican cargas estáticas. La deflexión en las carreteras viene dada a consecuencia de la aplicación cíclica y contante de cargas provenientes de los vehículos que circulan en ella, y esto no se refleja igual en laboratorio. Por el contrario, en el ensayo de deflectometría los resultados son más cercanos a la realidad debido a que se las realiza en campo y con una carga original transitando por la estructura del pavimento, aunque se deben tener muy en cuenta los diferentes factores por los que se ve afectado este método.

BIBLIOGRAFÍA

Hugo Alexander Rondon Quintana Y Fredy Alberto Reyes Lizcano (2015), “Pavimentos, materiales, construcción y diseño”, En Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Editorial MACRO Eco ediciones. Bogotá.

Ing. Silene Minaya Gonzalvez / M.I. Abel Ordoñez Huaman (2001). Manual de laboratorio ensayos para pavimentos. (Volumen I) - Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería civil (Lima-Perú).

INSTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTE (2001). Módulos de Resiliencia en sulos finos y materiales granulares, publicación técnica N°142, Sanfandila, Qro.

Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano (2007) Metodologías de Diseño e Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances y Limitaciones. En Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 17-2, pp. 41-65. Bogotá, Diciembre de 2007. ISSN 0124-8170.

Ing. Pablo Del Aguila, Camineros S.A.C. – Peru, Consultores En Gestión de Infraestructura. Especificaciones Para Control Deflectometrico En Obras De Pavimentación

Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano (2007) Metodologías de Diseño de Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances y Limitaciones. En Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 17-2, pp. 41-65. Bogotá, Dic. de 2007.