


	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 13 de Junio del 2016

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

JORGE DAVID TOVAR DUSSAN, con C.C. No. 1.081.154.000 de Rivera, autor de la tesis y/o trabajo de grado, titulado DETERMINACION DE MODULOS ELASTICOS APLICANDO RETROCALCULO PARA LA REHABILITACION DEL PAVIMENTO EN LA VIA SECUNDARIA CUCARA VILLAVIEJA





presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola;

autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.





	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:



Firma _____

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 5

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

DETERMINACION DE MODULOS ELASTICOS APLICANDO RETROCALCULO PARA LA REHABILITACION DEL PAVIMENTO EN LA VIA SECUNDARIA CUCARA VILLAVIEJA

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
TOVAR DUSSAN	JORGE DAVID

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
IZQUIERDO BAUTISTA	JAIME

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
DUARTE TORO	MAURICIO
OROZCO CHAVARRO	EMILIO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERIA AGRICOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2016

NÚMERO DE PÁGINAS: 49

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 5

Diagramas_x__ Fotografías__ Grabaciones en discos__ Ilustraciones en general_x__ Grabados__ Láminas__ Litografías__ Mapas__ Música impresa__ Planos__ Retratos__ Sin ilustraciones__ Tablas o Cuadros__

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: word o adobe reader

MATERIAL ANEXO: Apiques estratigráficos





PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. deflexión	deflection	6. _____	_____
2. viga benkelman	Benkelman beam	7. _____	_____
3. Subrasante	Subgrade	8. _____	_____
4. _____	_____	9. _____	_____
5. _____	_____	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En este trabajo se evaluó la deflexión máxima de la subrasante del kilómetro en estudio, por medio de un ensayo no destructivo utilizando una viga benkelman doble, comparándolo con un ensayo de relación de soporte de california (CBR), para determinar a través del retrocalculo el módulo elástico de la Subrasante, una vez se analizan los datos de campo se procede a establecer los tratamientos para cada sector: el espesor de refuerzo para cada sección en estudio fue de: K0+000=2,45 cm; K0+250= 1,12 cm; K0+500=2,00 cm; K0+750=3,0 cm; K1+000=3,26 cm, los cuales se deben ajustar a un mínimo de 8 cm de acuerdo a la normativa INVIAS-07, para cumplir técnicamente con la rehabilitación. Los costos de rehabilitación promedio en el país para una extensión de 1 kilómetro en un ancho de calzada promedio de 2.9 metros en una profundidad de 8 centímetros, son de \$127,237,500.00 M.C.T, Valor que al ser comparado con 1 kilómetro de rehabilitación en Colombia que se encuentra aproximadamente en \$1'200,000,000 millones de pesos el gobierno departamental se estaría ahorrando en un término de 10 años aproximadamente \$1'000,000,000 millones de pesos por kilómetro que podrían ser invertidos en otras locomotoras del desarrollo.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 5

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)







GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 5
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

In this work the maximum deflection of the subgrade kilometer study was evaluated by a non-destructive testing using a beam benkelman double, compared with a ratio test support california (CBR) to THROUGH the backcalculation determine the module elastic subgrade, once the field data is analisan proceed to establish treatments for each sector: the thickness of reinforcement for each section under study was: K0 + 000 = 2.45 cm; K0 + 250 = 1.12 cm; K0 + 500 = 2.00 cm; K0 + 750 = 3,0 cm; K1 + 000 = 3.26 cm, which must be set at a minimum of 8 cm according to the rules INVIAS-07, to comply technically with rehabilitation. Costs average rehabilitation in the country for an extension of 1 kilometer in width average walkway 2.9 meters at a depth of 8 centimeters, are \$ 127,237,500.00 MCT value that when compared to 1 kilometer rehabilitation in Colombia found approximately \$ 1'200,000,000 million pesos departmental government would be saving a term of 10 years or \$ 1'000,000,000 million pesos per kilometer that could be invested in other engines of development.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	5 de 5

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: **Ing. Jaime Izquierdo Bautista**



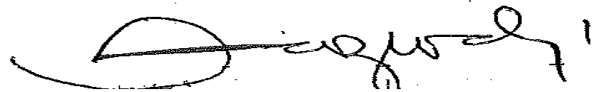
Firma:

Nombre Jurado: **Ing. Mauricio Duarte Toro**

Firma:



Nombre Jurado: **Arq. Emilio Orozco Chavarro**



Firma:



**DETERMINACION DE MODULOS ELASTICOS APLICANDO
RETROCALCULO PARA LA REHABILITACION DEL PAVIMENTO EN LA
VIA SECUNDARIA CUCARA VILLAVIEJA**

Modalidad: Pasantía Académica



Presentado Por:

Jorge David Tovar Dussan

2007270368

Director

**Jaime Izquierdo Bautista
Ing. Agr. Magíster En Ingeniería Civil**

**Universidad Surcolombiana
Facultad De Ingeniería
Programa De Ingeniería Agrícola
Neiva
2016**

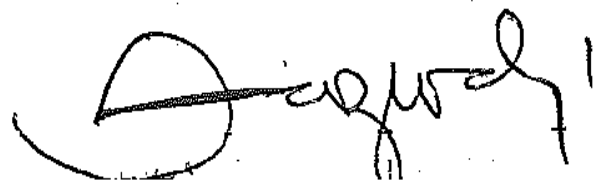
NOTA DE ACEPTACION



Director.Ing.Jaime Izquierdo Bautista



Jurado.Ing. Mauricio Duarte Toro



Jurado.Ing. Emilio Orozco Chavarro

Contenido

Contenido.....	3
INTRODUCCION.....	6
OBJETIVOS	7
1.ALCANCE.....	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
3. MARCO CONCEPTUAL	8
3.1. Pavimentos de Carreteras.....	8
3.1.1 Componentes del Pavimento.....	9
3.2. Evaluación deflectométrica	14
3.2.1. La Viga Benkelman	15
3.2.2 Métodos Empíricos.....	15
3.2.3 Métodos Analíticos	16
4.ANTECEDENTES	16
5. METODOLOGIA.....	17
.....	17
5.1 Análisis de las deflexiones	18
5.1.1 Corrección por temperatura, Fct.	19
5.1.2 Deflexión característica de cada sector, D'c.	19
5.1.3 Factor de corrección por clima, Fcc.	20
5.1.4 Radio de curvatura, Rc.....	20
5.2 Procedimiento en campo	21
5.3 Proceso Iterativo (Retrocalculo) Para El Cálculo De Los Módulos De Las Diferentes Capas De Pavimento.....	24
6. ANALISIS DE RESULTADOS.....	25
6.1 Parámetros de Diseño:	25
6.2 Estudio de Transito:.....	26
6.3 INFORMACION CLIMATOLIOGICA ESTACION VILLAVIEJA	31
6.3.1 DIAGRAMAS DE INFORMACION CLIMATOLIOGICA ESTACION SAN ALFONSO VILLAVIEJA.....	32
6.4 RESULTADOS	36
7.COSTOS.....	44

CONCLUSIONES.....	45
BIBLIOGRAFIA.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Transferencia de carga a través de la estructura de pavimento.....	9
Figura 2. Estructuración típica de pavimento Flexibles.	10
Figura 3. Modelo de desarrollo de las principales fallas en el tiempo de un pavimento flexible: revestimiento, ahuellamiento superficial y grietas. Tomado del manual de reciclado en frio de la WIRTGEN GROUP.	11
Figura 4. ciclo de vida de un pavimento flexible durante el periodo estructural. Tomado del manual de reciclado en frio de la WIRTGEN GROUP.	11
Figura 5. Deflexión máxima (y/o cero) en la subrasante para un ensayo con viga benkelman doble. Tomado del manual de reciclado en frio de la WIRTGEN GROUP.....	13
Figura 6. Ensayo con e PDC-Penetrometro Dinámico de Cono.	14
Figura 7. resultados de CBR para una estación dentro de una vía terciaria a nivel de afirmado en el departamento del Huila. Fuente: Ensayo suministrado por la empresa Multimezclas y Agregados S.A.S.....	14
Figura 8. Viga benkelman. Fuente: (INVIAS, 2002, P.121)	15
Figura 9. Tomado del manual de reciclado en frio de la WIRTGEN GROUP ...	17
Figura 10. Configuración geométrica del sistema de carga para ensayos con viga Benkelman. Fuente: Hoffman, M.S. (1977).....	22
Figura 11. Esquematación del proceso de medición con la viga Benkelman. Fuente: Hoffman, M.S. (1977).	23
Figura 12. Grafica de regresión exponencial.....	28
Figura 13. Precipitación media mensual.....	32
Figura 14. Temperatura media mensual.....	33
Figura 15. Brillo solar mensual.	34
Figura 16. Humedad relativa mensual.	34
Figura 17. Nubosidad mensual.....	35
Figura 18. Ubicación de la estructura existente dentro de su ciclo de vida.	41
Figura 19. Perfil estratigráfico km 0+000 vía cucara-Villavieja.	47
Figura 20. Perfil estratigráfico km 0+250 vía cucara-Villavieja.	48
Figura 21. Perfil estratigráfico km 0+500 vía cucara-Villavieja.	48
Figura 22. Perfil estratigráfico km 0+750 vía cucara-Villavieja.	49
Figura 23. Perfil estratigráfico km 1+000 vía cucara-Villavieja.	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valor de la función (m)	18
Tabla 2. Factores de corrección de las deflexiones Benkelman por clima.....	20
Tabla 3. Rango de deflexiones.	20
Tabla 4. Formato para la toma de datos de campo.	24
Tabla 5. Resumen de espesores para rodadura asfáltica, base granular y subbase granular par el tramo cucara –Villavieja del ko+000 al km 1+000.....	25
Tabla 6. Transito promedio diario semanal año actual.	26
Tabla 7. Series históricas vía cucara-Villavieja.	27
Tabla 8. Determinación de la mejor regresión para la estimación del tránsito de diseño.....	28
Tabla 9. Calculo del crecimiento del tránsito entre año de diseño y construcción.	29
Tabla 10. Determinación del número de ejes equivalentes de 8,2 ton en el año de la medición del tránsito, corregido por el tiempo transcurrido entre este y la puesta en servicio del pavimento.	29
Tabla 11. Determinación del número de ejes equivalentes en el año base o de puesta en servicio del pavimento atraído de otra carretera.....	29
Tabla 12. Determinación del número de ejes equivalentes en el año base o de puesta en servicio del pavimento generado de otra carretera.....	29
Tabla 13. Determinación del número de ejes equivalentes generado.	29
Tabla 14. Numero de ejes equivalentes existentes en el año base.	29
Tabla 15. Proyección del tránsito durante el periodo de diseño.....	30
Tabla 16. Corrección de transito proyectado.	30
Tabla 17. Parámetros de Laboratorio.	30
Tabla 18. Información Climatológica. Fuente: IDEAM (Estación San Alfonso). 31	
Tabla 19. Subrasante (consistencia).....	36
Tabla 20. Resumen de las deflexiones medidas en el centro de las llantas duales y a 25 mm.	37
Tabla 21. <i>Necesidades de refuerzo para cada una de las secciones desde el km0+000 al km 1+000.</i>	40
Tabla 22. Módulos elásticos determinados con medidas directas e indirectas. 42	
Tabla 23. <i>retrocalculo para determinar el módulo elástico a partir de medidas de deflexiones máximas en la subrasante para el k0+000.</i>	43
Tabla 24. <i>Espesores de refuerzo recomendados para incrementar 10 años el periodo de diseño antes de una intervención a nivel de rehabilitación.</i>	44

Tabla 25. *Espesores de refuerzo recomendados para incrementar 10 años el periodo de diseño antes de una intervención a nivel de rehabilitación.* 44

INTRODUCCION

La ubicación geográfica del país, por un lado, en el este colindando con el Océano Pacífico y Panamá; y por otro lado al norte con el mar Caribe hace necesario el desarrollo de una infraestructura vial multimodal capaz de transportar todos los productos e insumos del interior del país hacia las zonas de conglomeración de consumo ubicados principalmente en las capitales de departamento y en los puertos con salida al mar. En este orden de ideas se hace necesario estructurar un programa de construcción, mantenimiento, y rehabilitación de todas las troncales que intercomunican la capital del departamento con las cabeceras municipales y estos con sus municipios para lo cual se han clasificado en tres ramas las vías del país: primarias, secundarias y terciarias con el fin de otorgar un grado de importancia a cada una de estas rutas, de tal suerte que el presupuesto nacional destinado a la generación de infraestructura se adapte a las necesidades de los departamentos y municipios; de igual forma el tema principal de estudio de esta investigación se basa en la exploración de una metodología de rehabilitación de pavimentos flexibles, cuya finalidad es establecer los beneficios a bajo costos de mantener una red neuronal de evaluación de pavimentos actualizada en el departamento del HUILA, así se espera incentivar la generación de tecnología que permita mantener monitoreada toda la red primaria, secundaria y terciaria del departamento de tal forma que sea posible encontrar en cada tramo y ruta las verdaderas necesidades de intervención y en este sentido ahorrar costos y tiempo de construcción, mantenimiento y rehabilitación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las deflexiones máximas obtenidas y determinar el módulo elástico de la subrasante por medio del Retrocalculo, en la vía Cucara Villavieja- Departamento del Huila.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Seccionar la vía dependiendo de los resultados obtenidos en campo, establecer tratamientos de rehabilitación para cada sección.
- Establecer los costos y presupuesto del ensayo.

1.ALCANCE

Se ha logrado demostrar por medio de investigaciones basadas en resultados de matrices origen y destino para transporte comercial, mayores a 3.5 ton, que el producto interno bruto del país está directamente relacionado con los tipos modales de transporte, con los cuales se mueven las mercancías e insumos del país, departamento o municipio¹, en este sentido un crecimiento del parque automotor calculado en 5.5 % anual² para COLOMBIA debe ir acompañado de mejoras en la CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO; por un lado el aumento del número máximo de vehículos que puede circular por un punto o tramo uniforme de la vía en cualquiera de sus sentidos y por otro lado la calidad del servicio que ofrecen las vías en términos de velocidad media de circulación, relación capacidad/volumen de circulación que transmite la proximidad al punto de saturación de la vía lo cual se refleja directamente en los usuarios actuales, atraídos, generados y desarrollados por medio de los tiempos de viaje, demoras, seguridad, y comodidad de los usuarios. De esta manera se espera mantener un nivel de servicio A y B garantizando la entrada y salida constante

¹ *EI TRANSPORTE COMO SOPORTE AL DESARROLLO DE COLOMBIA, UNA VISION AL 2040.*
UNIANDES

² MANUAL GEOMETRICO DE VIAS, INSTITUTO NACIONAL DE VIAL INVIAS 2010

de bienes y servicios del interior hacia el exterior del país generando crecimiento en las demandas de empleo, y mejorando la calidad de vida de los beneficiarios.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Organización de Carreteras de Europa OCDE (1987), define un sistema de gestión de pavimentos como el procedimiento constante de administrar, coordinar y controlar las acciones para la conservación de las estructuras de pavimento en aceptables condiciones de servicio (Estructural y Funcional), optimizando los recursos disponibles para obtener el mayor beneficio social.

La problemática vial en Colombia radica en la falta de información o al poco o nulo mantenimiento que se realizan a las vías principales y secundarias que se encuentran alrededor del territorio nacional, ahora la importancia de este tipo de estudios para la empresa Multimezclas y Agregados S.A.S en los pavimentos, se dirige al establecimiento de estrategias de conservación y a la definición de prioridades en las actuaciones implícitas en estas estrategias.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1. Pavimentos de Carreteras

La superficie o capa de rodadura es la única parte visible de un camino. Bajo esta superficie, existe una estructura constituida por varias capas de distintos materiales, que en ciertos casos pueden alcanzar profundidades mayores a 1,0 metro. La estructura de pavimentos bajo la superficie es la sección de la carretera que realiza.

El trabajo de soporte a las cargas de tránsito, El peso de los vehículos aplicado en la superficie se transfiere o disipa a la subrasante (Material natural bajo el pavimento) a través de la estructura de pavimento. La subrasante generalmente es una capa débil en términos de capacidad de soporte. Las fuertes cargas de tráfico aplicadas en la superficie del pavimento se van distribuyendo sobre un área más grande en las capas inferiores hasta llegar a la subrasante. Como se ilustra en la Figura 1.

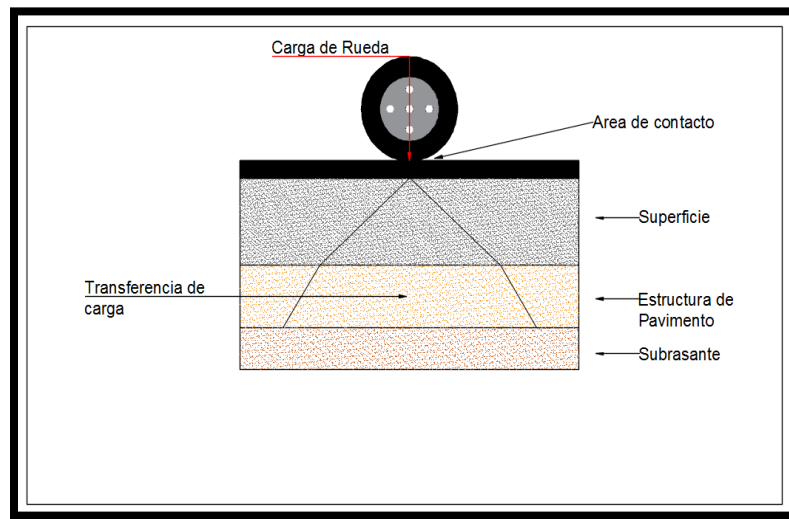


Figura 1. Transferencia de carga a través de la estructura de pavimento

Cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento varía en su composición y espesor (generalmente entre 125mm a 200 mm). Las capas de la superficie son construidas utilizando materiales de alta resistencia (por ejemplo, una mezcla asfáltica en caliente) con el objetivo de resistir las altas tensiones producidas por las cargas de tráfico. A medida que la carga se distribuye sobre un área mayor en las capas inferiores, el nivel de tensión se reduce. Por lo tanto, las capas inferiores pueden estar constituidas por materiales de calidad inferior (por ejemplo, materiales granulares). Como consecuencia, los materiales de las capas inferiores son más económicas que los materiales de las capas superiores.

3.1.1 Componentes del Pavimento

Como se mencionó anteriormente, los pavimentos tienen tres componentes principales: la superficie, la estructura del pavimento y la subrasante. Cada uno de estos tiene un objetivo distinto y se define a continuación.

- **Superficie:**

La superficie es la interface del pavimento con las solicitaciones de tráfico y medio ambiente. Su función es proteger a estructura de pavimento de ambos efectos destructivos, entregando durabilidad e impermeabilidad de la estructura.

- **Estructura de pavimento:**

La estructura del pavimento transfiere la carga de tránsito desde la superficie hasta la subrasante, la carga aplicada por una rueda se reduce dentro de la estructura a medida que ésta se reparte en una superficie mayor. El pavimento generalmente está compuesto por varias capas de material, con distintas propiedades de resistencia. Cada capa tiene el objetivo de distribuir la carga que recibe. Las capas ubicadas en la parte superior de la estructura

están sujetas a tensiones mayores que aquellas en la parte inferior, y por lo tanto requieren de un material más resistente. La figura 2. muestra los tipos de materiales que comúnmente se utilizan para construir pavimentos flexibles. La respuesta de un material (tensiones, deformaciones), a la carga de tránsito depende en gran medida de las propiedades elásticas del material y de la carga misma (magnitud, presión, etc.).

Posición relativa en la Estructura		Material de construcción
	Superficie	Asfalto o sello asfáltico
	Base	Mezcla asfáltica/granular estabilizado con asfalto o cemento /granular
	Subbase	Granular estabilizado con asfalto o cemento/granular
	Subrasante	Granular estabilizado con cemento/granular/material in-situ

Figura 2. Estructuración típica de pavimento Flexibles.

La rehabilitación y mantenimiento de infraestructura vial requiere de un estudio previo de factibilidad que asegure cuales son los procedimientos y actividades que se deben llevar a cabo en términos sociales, geométricos y estructurales para mejorar la capacidad y calidad del servicio prestado de un tramo. Así, se hace necesario conocer la hoja de vida del proyecto sujeto a investigación, de tal manera que sea posible conocer los indicadores de deterioro del pavimento y el monitoreo de la calidad de rodado, destacando la importancia de tomar acciones a tiempo para mantener la calidad de rodado tan alta como sea posible, a continuación se ilustran dos figuras modelos tomados del manual de reciclado en frío de la WIRTGEN GROUP:

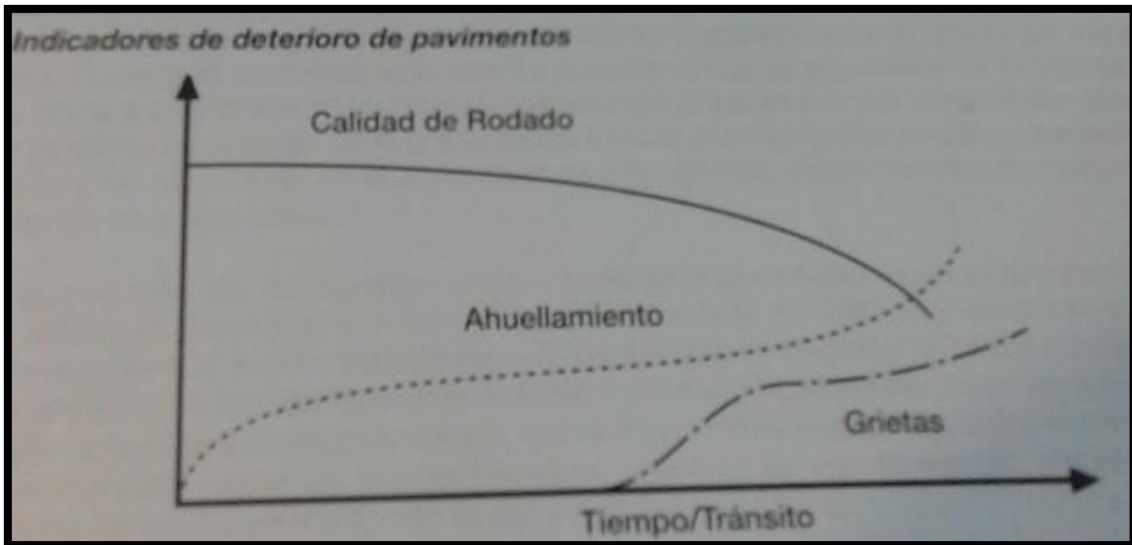


Figura 3. Modelo de desarrollo de las principales fallas en el tiempo de un pavimento flexible: revestimiento, ahuellamiento superficial y grietas. Tomado del manual de reciclado en frío de la WIRTGEN GROUP.

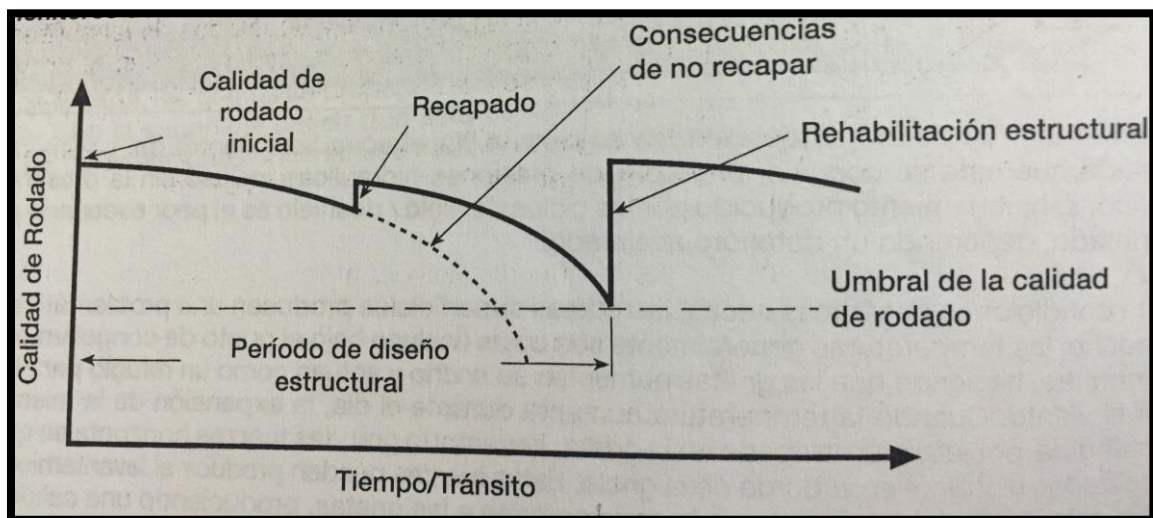


Figura 4. ciclo de vida de un pavimento flexible durante el periodo estructural. Tomado del manual de reciclado en frío de la WIRTGEN GROUP.

En este sentido se hace necesario introducir las metodologías no destructivas de evaluación existentes que permiten mantener la administración de la red neuronal de pavimentos del departamento del HUILA actualizada de tal manera que se pueda cumplir y extender la vida de servicio de la estructura y en este sentido conservar la calidad y capacidad de la red de infraestructura.

En Colombia se emplea como eje estándar un eje simple de rueda gemela de 8.2 ton a partir del cual se determina el radio de carga de cada eje equivalente; sin embargo, se ha tomado la decisión de trabajar con un eje equivalente de 13

toneladas de tal suerte que se asemeje más a la realidad de carga dinámica a la cual están sometidas las vías; en este sentido a continuación se ilustran las variables de entrada para la evaluación estructural de un pavimento flexible:

- Eje de referencia= simple con ruedas gemelas
- Carga por eje= 13 ton = 130kn
- Carga por llanta = 130kn/4=32.5kn
- Presión de inflado= 662kpa=96.015psi=6.75kg/cm²
- Radio de carga = $R_c = \sqrt{\frac{32.5kn \cdot 101.97kgf/kn}{3.1416 \cdot 6.75kgf/cm^2}}$
- $R_c = 12.5cm = 0.125m$
- **$R_c = 0.125m$**
- Separación entre ruedas=0.375 m= 3*Rc

De acuerdo a lo enunciado se encuentran dos ensayos no destructivos empleados para determinar las condiciones in situ de las capas de forma que conforman la estructura existente basándonos en el eje de referencia enunciado líneas arriba ; por un lado, la VIGA BENKELMAN DOBLE caracterizada por la normativa INVIAS-795 e inventada por A.C. Benkelman (Sánchez, 1985, p.215) Es una herramienta que emplea las bondades del retro cálculo para determinar únicamente el módulo elástico del suelo de subrasante y de esta manera poder categorizarlo para conocer el estado de su resistencia por medio de su capacidad portante, el ensayo es muy sencillo y útil cuyo procedimiento se basa en dos reglas, una que mide el desplazamiento unitario vertical en el eje de la llanta doble gemela y otra que mide el mismo desplazamiento a 25 mm del eje central de la rueda gemela con el objetivo de determinar el radio de curvatura el cual se considera como máximo para un valor de $R_c =$, punto a partir del cual se sabe a priori si es necesario hacer una intervención superficial(a nivel de la capa asfáltica) o estructural(a nivel de subrasante). Por otro lado, debido a la falta de información de esta prueba se introduce el DEFLECTOMETRO DE IMPACTO mediante la normativa INVIAS 798, el cual cumple la misma función de la viga Benkelman pero va más allá dado que permite obtener toda la curva de deflexión a diferencia del ensayo estático, donde solo se obtiene el valor máximo de deflexión en la subrasante, en este sentido es posible obtener toda la caracterización de la estructura existente en términos de conocer los módulos elásticos de cada uno de las capas de forma que constituyen el pavimento en estudio, de esta forma es posible contar con información confiable del pavimento in-situ mediante el delineamiento de las secciones homogéneas, así analizar las medidas de deflexión dentro de cada sección con un nivel de confianza adecuado para definir la actividad a llevar cabo: recapado asfáltico, fresado, reciclado, construcción total, mejoramiento y/o rehabilitación estructural la cual dependerá

de la ubicación de la investigación dentro del estado del ciclo de vida del pavimento. Las figuras 1 y 2 del presente estudio deben estar continuamente actualizadas y monitoreadas pues son las rasantes que miden la intervención a seguir cuando se cuenta con un sistema neuronal de evaluación de pavimentos. A continuación, se ilustra un bosquejo de las herramientas enunciadas:

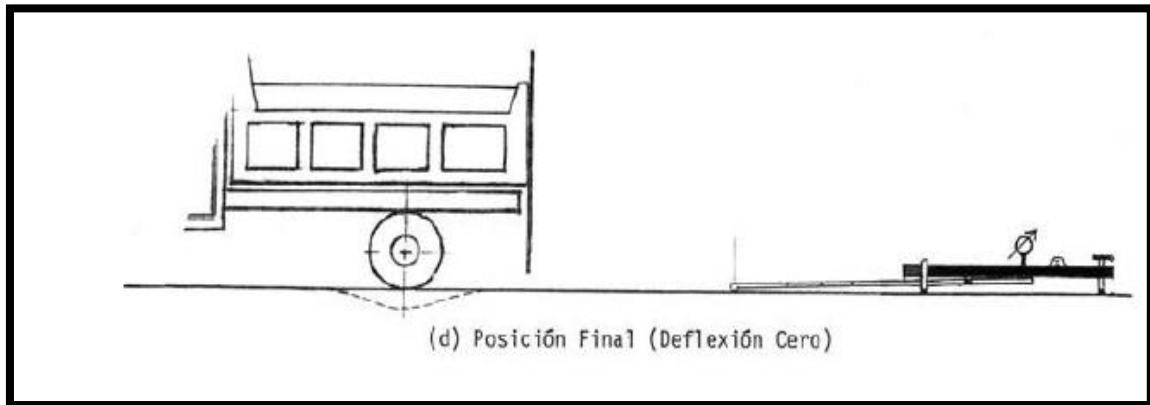


Figura 5. Deflexión máxima (y/o cero) en la subrasante para un ensayo con viga benkelman doble. Fuente: Hoffman, M.S. (1977).

De acuerdo a lo enunciado, las medidas de deflexión junto con la auscultación visual permiten desarrollar un pre diseño tal que sea posible conocer el tipo de intervención necesario para cada tipo de daño presente en el tramo de estudio y dejar atrás el método convencional colombiano de levantar todo y volver a construir siempre que se cuenta con un sistema neuronal dotado de los indicadores de deterioro.

Adicional se introduce el ensayo conocido como PENETROMETRO DINAMICO DE CONO detallado en la normativa INVIAS -172 el cual se basa en la relación fuerza (y/o golpe) contra penetración acumulada corregida, donde se mide el índice de penetración (DN) a partir del cual se determina el CBR a través de diferentes correlaciones introducidas por la clasificación unificada de suelo (UCS). De esta forma se emplea un cono con pesa de 8 kg cada 250 metros alcanzando profundidades máximas corregidas de 1 metro. El procedimiento empleado se basa en determinar la penetración acumulada corregida por golpe mínimo cada 25 mm de avance vertical cada 20 golpes o los que considere el diseñador, así se requiere la caracterización de los diferentes estratos de tal suerte que se pueda determinar junto con la penetración por golpe y el índice de penetración el valor aproximado del CBR. Este procedimiento complementa los enunciados líneas arriba puesto que es empleado para determinar los módulos a nivel de pre diseño en las carreteras a nivel de afirmado. En este sentido se cubren todos los espectros de diseño desde pavimentos nuevos, envejecidos y a nivel de capas de forma, lo cual permite en un periodo corto de tiempo elaborar las curvas de ciclo de vida de cada una de las troncales del departamento y en este sentido mantenerlas monitoreadas a costos mínimos.



Figura 6.Ensayo con e PDC-Penetrometro Dinámico de Cono.

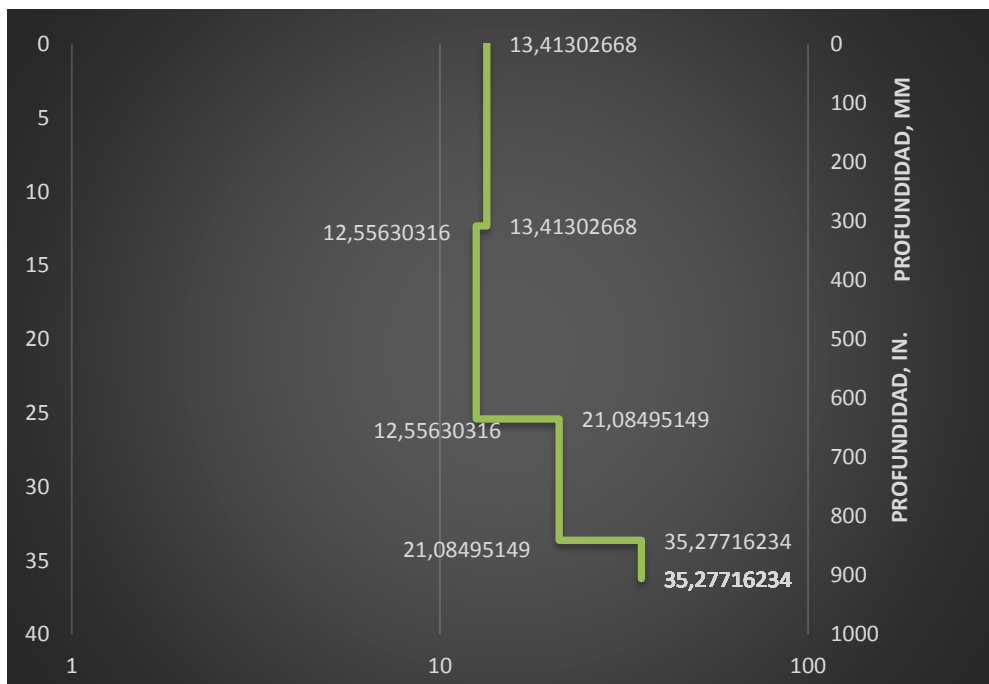


Figura 7.resultados de CBR para una estación dentro de una vía terciaria a nivel de afirmado en el departamento del Huila. Fuente: Ensayo suministrado por la empresa Multimezclas y Agregados S.A.S.

3.2. Evaluación deflectométrica

La evaluación de la capacidad de soporte de un pavimento en servicio es un aspecto fundamental para determinar los refuerzos o rehabilitación estructural. La capacidad estructural se determina in situ y con la medida de la deflexión o desplazamiento vertical que experimenta la superficie del pavimento al ser sometido al efecto de una carga.

Los primeros equipos para medir las deflexiones de un pavimento fueron desarrollados en la década del 50, pero como la tecnología ha avanzado a

pasos agigantados, en la actualidad de se cuenta con equipos de alto rendimiento de gran exactitud. (Higuera, C.H. 2012).

Los equipos más comunes para medir las deflexiones son:

- La viga Benkelman.
- El deflectógrafo Lacroix.
- Los deflectómetros de impacto (Falling Weight Deflectometer FWD).

3.2.1. La Viga Benkelman

La viga ideada por A.C. Benkelman (Sánchez, 1985, p.215) es un sencillo dispositivo mediante el cual se determinan las deformaciones elásticas (deflexión) en un punto de contacto de dicha viga con el pavimento ubicado entre las llantas de un sistema doble, bajo un eje de carga estandarizado (8,175 kilogramos) y con una presión de inflado de neumáticos fija (5.6 Kg/cm²).

La viga Benkelman consta básicamente de una parte fija y una viga móvil. La parte fija o estructura aportante, esta soportada por tres apoyos que descansan sobre la superficie del pavimento, mientras que la móvil, que constituye el brazo de medida, se encuentra unida a una parte fija por medio de un pivote de giro. Uno de los extremos del brazo de medida hace contacto con un medidor de deformación montado sobre la parte fija y cuya lectura debe multiplicarse por la constante de la viga o relación entre los dos sectores en que el pivote divide el brazo, con el fin de obtener el valor real de la deflexión.

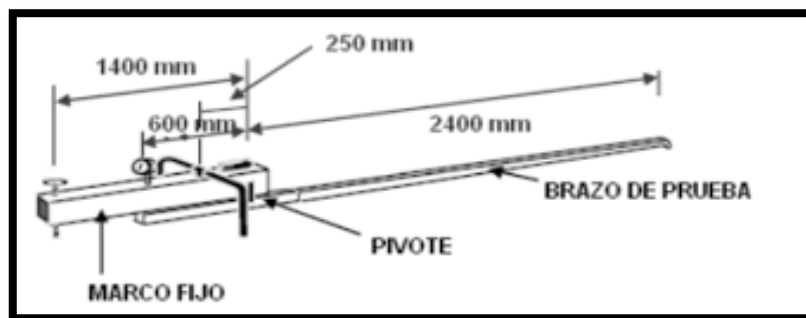


Figura 8. Viga Benkelman. Fuente: (INVIAS, 2002, P.121)

3.2.2 Métodos Empíricos

En los pasados 50 años se han desarrollado muchos métodos de diseño de pavimentos, registrándose desde métodos empíricos relativamente simples, hasta las más complicadas aproximaciones de modelación que requieren sofisticados programas computacionales. Muchos de estos métodos fueron desarrollados antes de concebir la idea de reciclar material de un pavimento existente.

Los cuales incluyen:

- Método de diseño CBR, basado en la resistencia de la subrasante.
- Guías de diseño aproximadas, basados en estructuras típicas de pavimento para aplicaciones específicas.
- Métodos de Diseño con DCP, el cual utiliza los datos de investigaciones con el DCP para modelar defectos en el pavimento existente.
- Método del número Estructural, el cual asigna un coeficiente estructural para varios tipos de materiales.

3.2.3 Métodos Analíticos

Todos estos metodos incluyen procesos analíticos seguidos de interpretaciones (elementos empiricos) para traducir resultados del análisis de la capacidad estructural (conocidos como funciones de transferencia):

- Método de diseño basado en las deflexiones usando medidas de deflexión (análisis del cuenco de deflexiones).
- Análisis mecanicista. Estos métodos son basados en análisis de multi-capas lineal elástico, elasto-plástico o de elementos finitos.

4. ANTECEDENTES

La red neuronal de monitoreo de pavimentos tiene sus inicios en la década de los 50, en dos potencias industrializadas por un lado en Europa, ALEMANIA y por otro lado en NORTE AMERICA, LOS ESTADOS UNIDOS. Estos dos países iniciaron el lineamiento de su red con el fin de mantener y constituir una entidad oficial del estado que se encargara de manera detallada y planificada de mantener y conservar todos los tramos y rutas por medio de cámaras que graban las 24 horas todos los puntos esenciales de las principales troncales, instalación de sensores que miden las condiciones meteorológicas en diferentes puntos con el fin de atender cualquier incidente, sensores de velocidad que permiten determinar obstáculos y medir la capacidad y saturación de la red, señalización estática y dinámica con el objetivo de no cansar ni desviar la atención del conductor y medidas indirectas de evaluación mecánica de las diferentes troncales con el fin de mantener control del deterioro acumulado de la red lo cual permite conservar la capacidad alejado de la saturación y calidad del servicio por medio del sostenimiento del nivel de servicio.

Uno de los sistemas más difundidos en los países en desarrollo y patrocinado por el Banco Mundial es denominado HDM III (Highway Design Maintenance). HDM IV, el cual contempla pavimentos flexibles y rígidos.

5. METODOLOGIA

Las deflexiones se miden generalmente bajo la rueda externa del eje cargado, y los puntos de medida se localizan a una distancia que oscila entre 60 y 90 centímetros del borde del pavimento, es decir, sobre el trayecto más afectado por la circulación de los vehículos. Normalmente se toman lecturas cada 50 metros en forma alternada a lado y lado de la calzada, de manera que sean representativas de las condiciones generales del pavimento. Si se observa gran variación entre las lecturas, deberá reducirse el intervalo entre estas.

Una vez se han medido las deflexiones a lo largo de la vía que se estudia, ésta se divide en sectores, con el fin de procesar estadísticamente los datos. La determinación de los sectores debe ser acorde con las siguientes características:

- Uniformidad en las deflexiones
- Cambios topográficos que puedan afectar las condiciones de drenaje.
- Cambio en los suelos de la subrasante y estructura de pavimento.
- Variaciones de tránsito en cuanto a la frecuencia y magnitud.
- Variaciones en las condiciones climáticas.

Diagrama de flujo: Investigación y diseño de Pavimentos

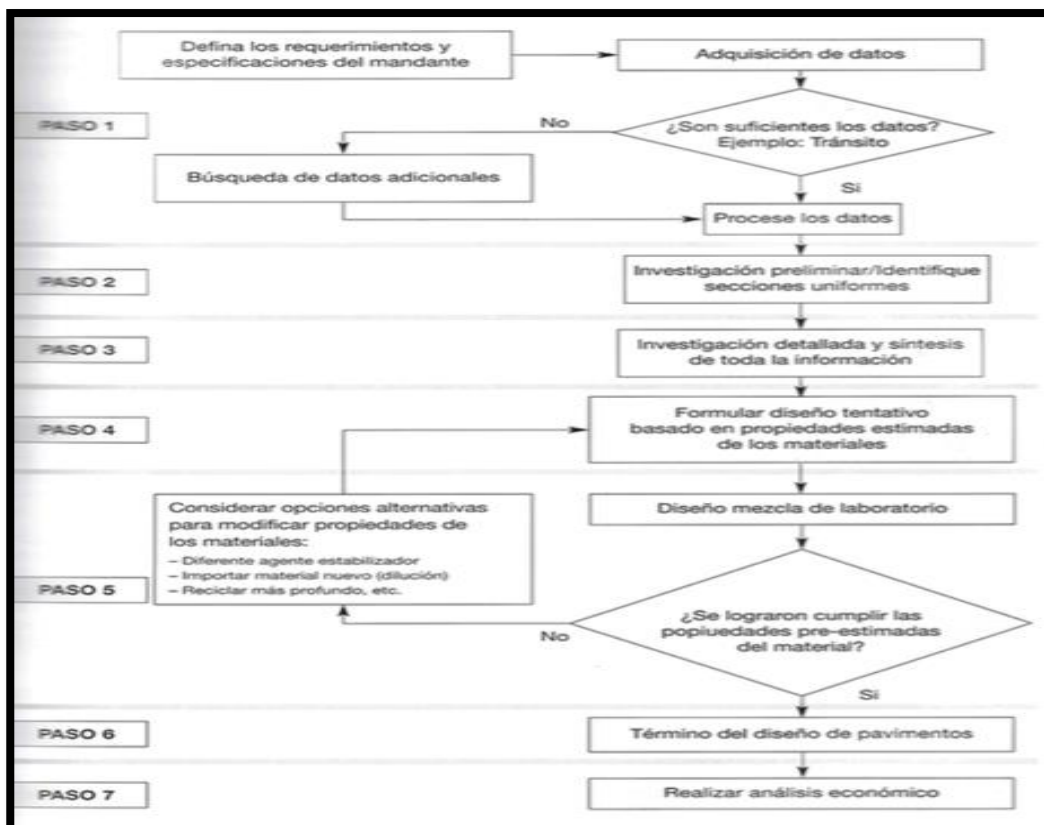


Figura 9. Tomado del manual de reciclado en frío de la WIRTGEN GROUP

5.1 Análisis de las deflexiones

Un sector de pavimento se divide a su vez en secciones de aproximadamente 500 metros de longitud y cada sección constituye una muestra estadística de las lecturas de deflexión hechas en ésta. A las n deflexiones que componen cada sección.

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

Donde:

\bar{D} : Valor promedio de la deflexión

d_i : Deflexión i .

n : Número de deflexiones.

Debe determinarse además la deflexión característica de cada sección (D_c), sumando a la deflexión promedio m veces la desviación estándar (s) de la siguiente manera.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{D} - d_i)^2}{n-1}}$$

$$D_c = \bar{D} + m * s.$$

En donde m esta dado en función del nivel de confianza. A continuación, se presenta ese valor.

Tabla 1. Valor de la función (m)

Nivel de confianza, %	Valor de m
50	0.00
85	1.00
90	1.28
95	1.65
98	2.00

Fuente: (INVIAS, 2002, p. 121)

El coeficiente de variación C_v se determina mediante la siguiente expresión y debe ser menor al 30 %

$$C_v = \frac{S}{\bar{D}} \times 100$$

Donde:

\bar{D} : Valor promedio de la deflexión

S : Desviación Estándar.

5.1.1 Corrección por temperatura, Fct.

Se ha comprobado que la deflexión varía con la temperatura del pavimento, en especial cuando las capas asfálticas son gruesas, por lo que es necesario aplicar algún factor de corrección a la deflexión por este concepto.

La mayor parte de los organismos viales han adoptado 20° C, como temperatura de referencia para la evaluación de las deflexiones de los pavimentos han preparado fórmulas y gráficas de corrección en base en sus propias investigaciones.

El factor de corrección por temperatura Fct es el siguiente:

$$Fct = \left(\frac{1}{1 + 0.0008 \times h(T - 20)} \right)$$

Donde:

Fct: Factor de corrección por temperatura.

h: Espesor promedio de la capa asfáltica de la sección en centímetros.

T: Temperatura del pavimento en el ensayo, en °C

La deflexión corregida 20 °C se determina por la siguiente expresión:

$$Dc_{20} = Dc \times Fct$$

Donde:

Dc: Deflexión característica de un sector

Fct: Factor de corrección por temperatura.

5.1.2 Deflexión característica de cada sector, D'c.

Una vez establecidas las deflexiones características de las diversas secciones u corregidas por efecto de temperatura, se calcula la deflexión de cada sector elegido (D'c), mediante la siguiente expresión:

$$D'c = \frac{\sum_{j=1}^m Dc_{20j}}{m}$$

Donde:

D'c: Deflexión característica de un sector

m: Número de secciones que componen un sector.

5.1.3 Factor de corrección por clima, Fcc.

Los valores de la deflexión característica (D_c) deben afectarse por el factor de corrección por clima, dependiendo de la época del año en que se hayan efectuado las mediciones. Es de gran importancia considerar las deflexiones en el periodo más crítico del año, entendiéndose como tal aquel en que las condiciones ambientales hacen que la estructura se encuentre más solicitada.

Los factores de corrección por clima son los siguientes:

Tabla 2. Factores de corrección de las deflexiones Benkelman por clima.

Naturaleza del suelo de subrasante	Coeficiente de Corrección		
	Periodo Lluvioso	Periodo Intermedio	Periodo Seco
Suelos arenosos y	1.0	1.0 - 1.1	1.1 - 1.3
Suelos arcillosos e impermeables	1.0	1.2 - 1.5	1.5 - 1.8

Fuente: (INVIAS, 2002, p.131)

La deflexión característica de cada sector corregido por clima, se fija por medio de la siguiente expresión:

$$D_{adm} = 26.32202(N)^{-0.2438}$$

Donde:

D_{adm} : Deflexión admisible en milímetros.

N: número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Para diferentes valores de N, se tienen los siguientes umbrales de intervención:

Tabla 3. Rango de deflexiones.

Nivel de tránsito N8.2 ton (millones)	Rango de deflexiones en milímetros		
	Bajo	Medio	Alto
2 a 4	<0.60	0.60 a 0.75	>0.75
4 a 6	<0.50	0.50 a 0.65	>0.65
6 a 8	<0.50	0.50 a 0.60	>0.60

Fuente: (INVIAS, 2002, p.13)

5.1.4 Radio de curvatura, R_c.

La precisión del radio de curvatura de la elástica de la deflexión constituye un importante complemento a la evaluación hecha mediante deflexiones, por

cuanto especifica la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionar bajo cargas.

El radio de curvatura se determina mediante la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{6250}{2D_0D_{25}}$$

Donde:

R_c : Radio de curvatura en metros.

D_0 : Deflexión en el eje vertical de la carga en 1/100 mm.

D_{25} : Deflexión a 25 centímetros del eje de la carga en 1/100 mm.

Para obtener el radio de curvatura de una sección se tiene en cuenta lo siguiente:

- Es importante aclarar que únicamente se procesan estadísticamente los registros de las deflexiones D_i .
- Las deflexiones D_{25} no se procesan estadísticamente.
- Los radios de curvatura (R_c), no se procesan estadísticamente.
- Con las deflexiones características (D_c) determinada, se buscan en el tramo todos los puntos o abscisas que tengan deflexión igual a la deflexión característica y se encuentra el punto más crítico con respecto al radio de curvatura (se toma el radio de curvatura más crítico, es decir, el más bajo).

La experiencia disponible en la actualidad permite concluir que los valores del radio de curvaturas inferiores a 80 metros indican la presencia de zonas débiles bajo las capas asfálticas, lo que es. Sin duda, peligroso para el pavimento, aunque las deflexiones se encuentren dentro de límites admisibles.

5.2 Procedimiento en campo

La carga aplicada al pavimento para la realización de los ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en (8,175 kilogramos), y es proporcionado por las llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como la presión de las llantas sea la requerida.

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo, se coloca la llanta que se utilizará sobre el punto de manera tal que este coincida con el centro de gravedad del conjunto (ver figura 10 (b) punto D).

Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de tres pulgadas alrededor del punto de ensayo seleccionado. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que

este último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación, se coloca la viga entre las llantas, pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (ver figura 10 (b), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

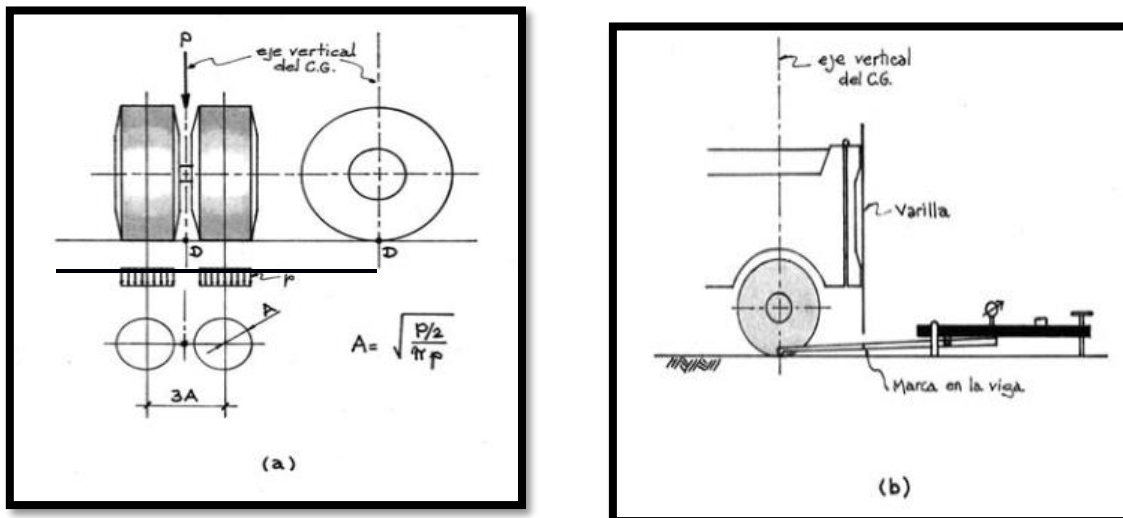


Figura 10. Configuración geométrica del sistema de carga para ensayos con viga Benkelman. Fuente: Hoffman, M.S. (1977).

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica de tipo de curvas de deflexiones que se producen. Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

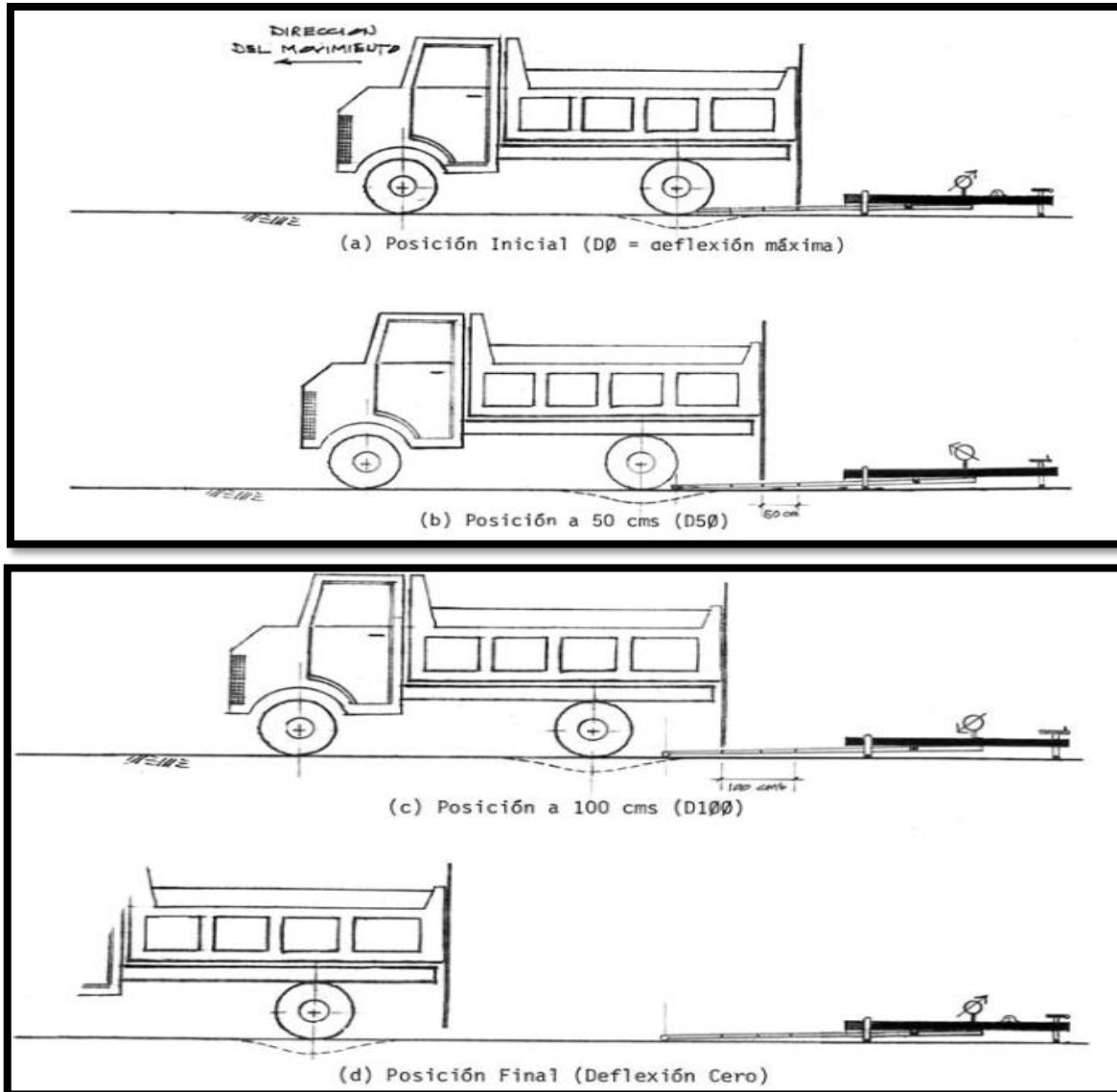


Figura 11. Esquematización del proceso de medición con la viga Benkelman.
Fuente: Hoffman, M.S. (1977).

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial (ver figura 11.(a)), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo

Con la primera y segunda marcas adicionales (figura 11.(b), (c)) y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5.00 m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

Tabla 4. Formato para la toma de datos de campo.

VOLQUETA	LECTURA DE DEFLEXION							
ABSCISA (K0 +...)	LEC. INICIAL	LEC INTERNA (EJE VERTICAL)	LEC EXTERNA (A 25 CENTIMETROS DEL EJE DE LA CARGA)	TEMPERATURA	OBSERVACIONES	DEFLEXIONES(D0)	DEFLEXION(D25)	RADIO DE CURVATURA

Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de tres operadores: Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas, cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga. Todo el trabajo deberá ser supervisado permanentemente por un ingeniero de campo quien verificará los valores que se vayan obteniendo, así como tomará anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados que se obtengan (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, capa freática, estado del pavimento, etc.). La tabla 4. Muestra el formato adecuado para la recopilación de los datos de campo.

5.3 Proceso Iterativo (Retrocálculo) Para El Cálculo De Los Módulos De Las Diferentes Capas De Pavimento

El cálculo de los módulos de las diferentes capas del pavimento se realiza mediante un proceso iterativo de optimización en el cual se minimiza el error cuadrático manteniendo los módulos dentro de su propio rango de variación.

El algoritmo iterativo incluye los siguientes pasos:

- a) Incremento del módulo de la subrasante desde un valor mínimo hasta un valor máximo con incrementos constantes.
- b) Incremento del módulo promedio de las capas granulares desde un valor mínimo hasta un valor máximo con incrementos constantes.
- c) Incremento del módulo promedio de las capas asfálticas desde un valor mínimo hasta un valor máximo con incrementos constantes.
- d) Cálculo de los coeficientes adimensionales α , β , α' y β' Cálculo del coeficiente Fw
- e) Cálculo de la deflexión máxima Obtención de la curva de deflexión relativa en función de la relación E1/E2 y de los parámetros α y β .
- f) Cálculo de la curva de deflexión absoluta
- g) Cálculo de la curva de deflexión Lacroix corregida.
- h) Comparación de la cuenca de deflexión medida con la cuenca calculada y obtención del error cuadrático medio

- i) Regreso a los literales c), b) y a) (el proceso se repite cuantas veces sea necesario hasta calcular la cuenca de deflexión con todas las combinaciones de módulo).
- j) Resultado de la combinación de módulos que conduce al menor error cuadrático.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 Parámetros de Diseño:

PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

Como complemento a las medidas indirectas de deflexión se llevaron a cabo cinco apiques con una profundidad promedio de 1 metro a lo largo de la vía en estudio donde se localizaron las estructuras ilustradas y a continuación se resumen los espesores:

Tabla 5. Resumen de espesores para rodadura asfáltica, base granular y subbase granular par el tramo Cucara –Villavieja del ko+000 al km 1+000.

ABSCISA	MDC-2(cm)	BASE GRANULAR(cm)	SUBBASE GRANULAR(cm)
K0 +000	7	25	28
K0+250	6,8	30	28
K0+500	7	28	27
K0+750	6,9	32	31
K1 + 000	7	28	28
PROMEDIO	6,94	28,6	28,4
DESVIACION ESTANDAR	0,0894	2,608	1,517
COEFICIENTE DE VARIACION	1,289	9,118	5,340

Los perfiles estructurales de la vía, fueron suministrados por la empresa Multimezclas y agregados S.A.S, se pueden observar en el **Anexo A**.

Donde se puede apreciar que el coeficiente de variación de los espesores está por debajo del 10 % razón por lo cual los resultados de los apiques se consideran representativos de los espesores de campo.

6.2 Estudio de Transito:

Tabla 6. Transito promedio diario semanal año actual.

FECHA	AUTOS			TOTAL, AUTOS	% AUTOS	BUSES	TOTAL, BUSES	%BUSES
	AUTOMOVILES	CAMPEROS	MICROBUS			BUSETA		
08/04/2015	53	79	13	145	78,38%	6	6	3,24%
09/04/2015	50	102	16	168	72,41%	11	11	4,74%
10/04/2015	67	105	11	183	80,26%	8	8	3,51%
11/04/2015	54	86	27	167	74,55%	9	9	4,02%
12/04/2015	74	98	24	196	82,01%	12	12	5,02%
13/04/2015	178	125	22	325	88,80%	4	4	1,09%
14/04/2015	284	145	37	466	92,09%	4	4	0,79%
TOTAL, BRUTO				1650	83,33%		54	2,73%

CAMIONES										TOTAL, CAMIONES	% CAMIONES	VEHICULOS/DIA	BUSES + CAMIONES	% BUSES + CAMIONES	
C2	%C2	C3	%C3	C4	%C4	C3S2	%C3S2	C3S3	%C3S3						
29	85%		0%		0%	5	14,7%		0%	34	18%	185	40		
42	79%	1	2%	2	4%	6	11,3%	2	4%	53	23%	232	64		
32	86%		0%		0%	5	13,5%		0%	37	16%	228	45		
42	88%		0%		0%	6	12,5%		0%	48	21%	224	57		
26	84%	1	3%		0%	4	12,9%		0%	31	13%	239	43		
31	84%	2	5%		0%	4	10,8%		0%	37	10%	366	41		
32	89%		0%		0%	4	11,1%		0%	36	7%	506	40		
234	84%	4	1%	2	1%	34	13%	2	1%	276	14%				
												TPDS	1980	330	16,67%
												TPD	282,86		

En la anterior tabla 6, se encuentra el registro del TPDS y TPD (Transito Promedio Diario Semanal), las cuales arrojan un tránsito promedio semanal de 1980 vehículos y un Transito promedio diario de 282,86 vehículos que transitan la vía Cucara Villavieja, de los cuales el 16,67% son buses y camiones.

En la tabla 7 se encuentra la serie histórica y composición del Transito promedio diario semanal de once años de la vía, teniendo una fluctuación bastante marcada en los once años de estudio, en el 2015 el TPDS fue de 83 automóviles, 3 camperos y 14 microbuses.

Tabla 7. Series históricas vía cucara-Villavieja.

ESTAC. No.	PR DE LA ESTACIÓN	SECTOR	CODIGO VIA	LONGITUD. (KM).	SERIE HISTÓRICA Y COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANTAL TPDS											DESVIA. ESTAND. (σ)
					TERRITORIAL HUILA											
					1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2015	
					79- 7-14	57- 9-34	75- 7-18	70- 1-29	67- 5-28	77- 11- 12	73- 1-26	71- 7-22	73- 8-19	72- 1-27	83-3- 14	
854	CUCARA-VILLAVIEJA			7	360	400	290	260	309	236	206	242	239	228	282,86	63

Tabla 8. Determinación de la mejor regresión para la estimación del tránsito de diseño.

REGRESION	R ²	FORMULA PROYECCION	MEJOR OPCION
LINEAL	0,6684	$Y=16,909x + 34121$	
EXPONENCIAL	0,6819	$y = 9E+52e^{-0,058x}$	✓
POTENCIAL	0,6823	$y = 2E+308x^{-116,3}$	
LOGARITMICA	0,6687	$y = -33852\ln(x) + 257608$	

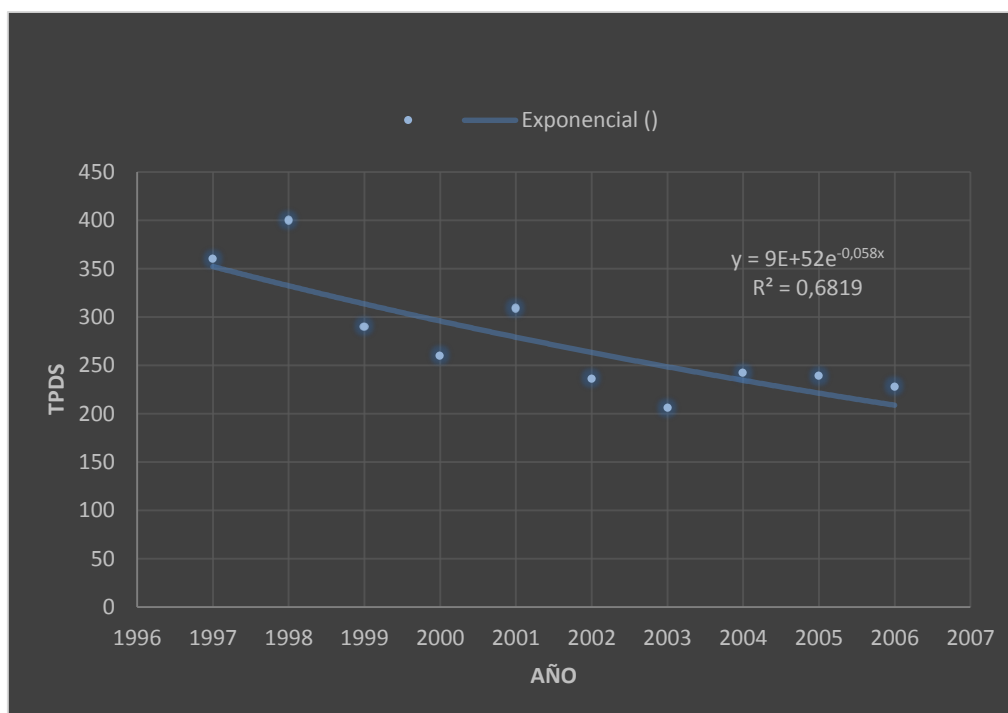


Figura 12. Gráfica de regresión exponencial.

Tabla 9.Calculo del crecimiento del tránsito entre año de diseño y construcción.

CRECIMIENTO ENTRE EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCION SEGÚN INVIAS 2007	5,50%
--	--------------

Tabla 10.Determinación del número de ejes equivalentes de 8,2 ton en el año de la medición del tránsito, corregido por el tiempo transcurrido entre este y la puesta en servicio del pavimento.

N año último aforo (2006)	228,00	
N año actual (2014)	349,91	
TIEMPO DISEÑO - PUESTA EN MARCHA	1,00	AÑO
N puesta en marcha (2015)	134.741,03	vehículos/año
N corregido	35.632,35	vehículos/año

Tabla 11.Determinación del número de ejes equivalentes en el año base o de puesta en servicio del pavimento atraído de otra carretera.

Ni	3.563,23	vehículos/año
-----------	----------	---------------

Tabla12.Determinación del número de ejes equivalentes en el año base o de puesta en servicio del pavimento generado de otra carretera.

Ni	1.781,62	vehículos/año
-----------	----------	---------------

Tabla 13.Determinación del número de ejes equivalentes generado.

Nd	1.781,62	vehículos/año
-----------	----------	---------------

Tabla 14.Numero de ejes equivalentes existentes en el año base.

Fca.	1	
-------------	---	--

Fw	0,5	
No	21.379,41	Ejes equivalentes en el año base en el carril de diseño

Tabla 15.Proyección del tránsito durante el periodo de diseño.

TPD	349,91	
CATEGORIA	III	
PERIODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL	20	
NESE	1.134.180,51	Ejes equivalentes de 8,2 ton en el periodo de diseño en el carril de diseño

Tabla 16.Corrección de transito proyectado.

NESE	1.314.515,22	Ejes equivalentes de 8,2 ton en el periodo de diseño en el carril de diseño
-------------	--------------	---

CLASIFICACION	TMAP(C)	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (MM)	CONDICIONES DE HUMEDAD PARA ENSAYO DE LABORATORIO
R3	28	1119,2	SUMERGIDO

Tabla 17.Parámetros de Laboratorio.

6.3 INFORMACION CLIMATOLOGICA ESTACION VILLAVIEJA

Tabla 18. Información Climatológica. Fuente: IDEAM (Estación San Alfonso).

ALTURA: 430
m.s.n.m.

LATITUD: 3° 14" LONGITUD: 75°13"

MESES	B. SOLAR (H/MES)	H. REL (%)	NUBOS. (OCTAS)	P. MED (mm)	T. MED (°C)	T. MAX (°C)	T. MIN (°C)
ENERO	197,1	68	5	71,8	28,1	30	26,1
FEBRERO	187,1	66	5	83,6	28,4	31,2	25,7
MARZO	180,8	68	6	101,8	28,2	30,3	26,4
ABRIL	159,2	71	6	137,3	27,7	29,7	26,6
MAYO	156,8	71	5	107	27,5	29	26,3
JUNIO	153,5	67	5	39,4	27,7	29,4	25,5
JULIO	179,8	60	5	25,3	28,4	29,9	26,7
AGOSTO	179	57	5	22,9	28,9	30,6	27,3
SEPTIEMBRE	156,4	59	5	52,1	29,1	31	27,4
OCTUBRE	180,4	68	6	191,4	27,8	29,5	26,4
NOVIEMBRE	178,1	75	6	183	27	28,4	26
DICIEMBRE	219,4	73	5	103,6	27,2	29,1	25,6
ANUAL	2127,6	67	5	1119,3	28	31,2	25,5
PROMEDIO				93,27	28,00		
PERIODO 1970-1996							
CLASIFICACION	R3	CALIDO SEMIHUMEDO	LAS CONDICIONES DE HUMEDAD PARA SUBRASANTE DEBE SER SUMERGIDO				

6.3.1 DIAGRAMAS DE INFORMACION CLIMATOLOGICA ESTACION SAN ALFONSO VILLAVIEJA

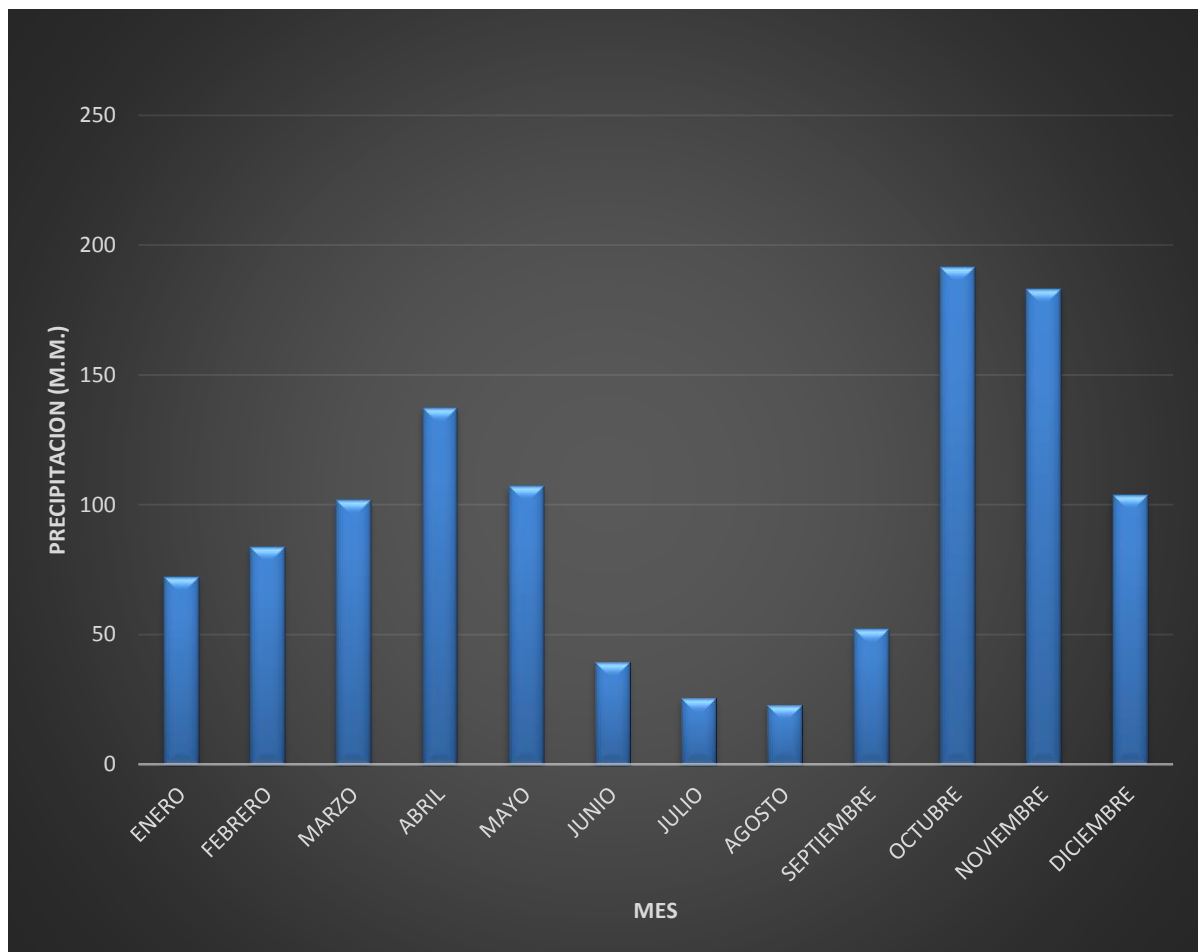


Figura 13. Precipitación media mensual

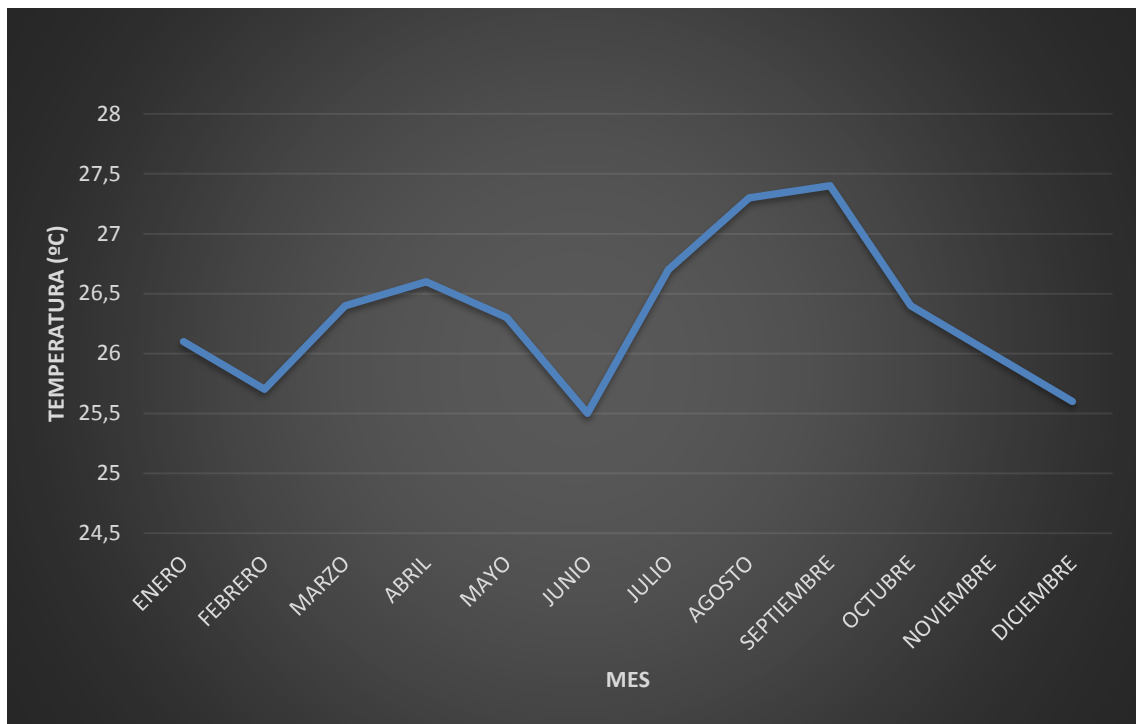


Figura 14. Temperatura media mensual.

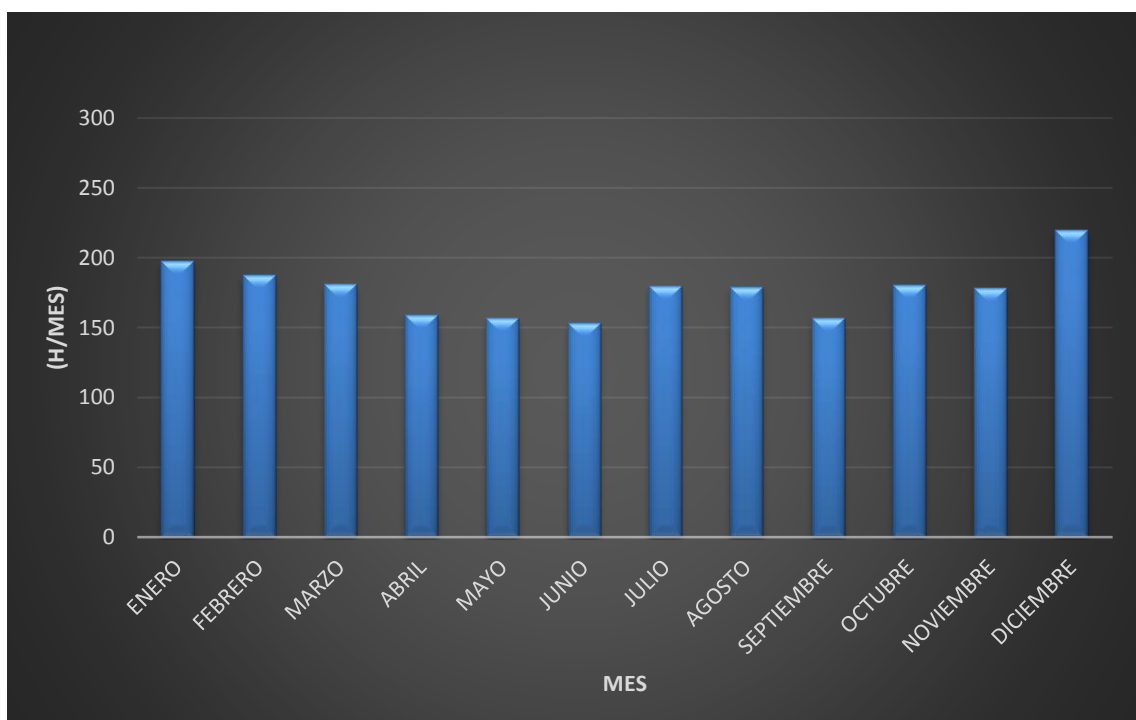


Figura 15.Brillo solar mensual.

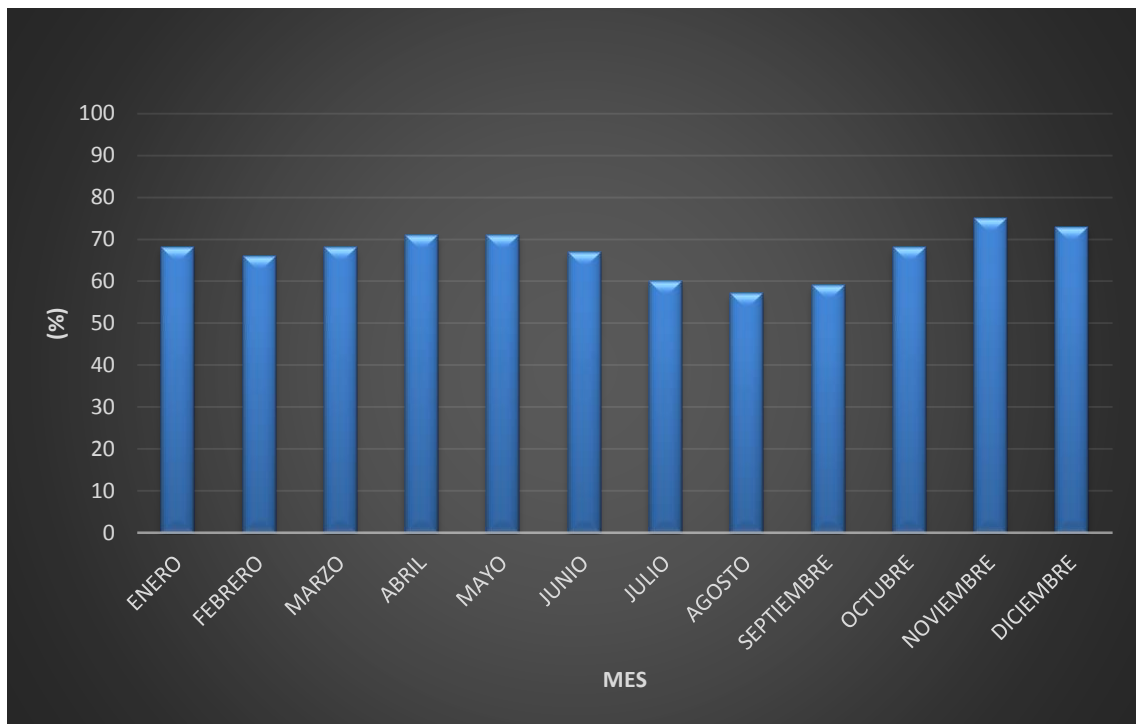


Figura 16.Humedad relativa mensual.

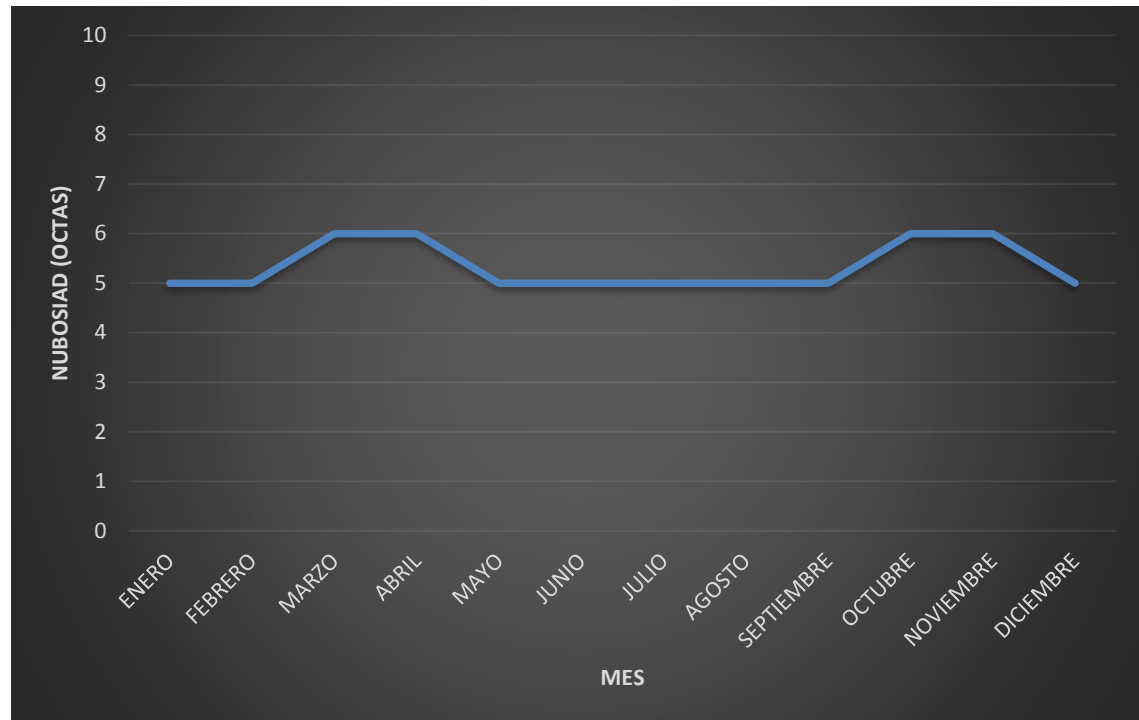


Figura 17.Nubosidad mensual.

6.4 RESULTADOS

Tabla 19. Subrasante (consistencia).

ABSCISA	APIQUE	DENSIDAD MAXIMA(LB/PULG ³)	HUMEDAD OPTIMA	W natural	LL	LP	IP	IC	CLASIFICACION	HINCHAMIENTO POTENCIAL	INVESTIGACION GEOTECNICA
K0 + 000	# 1	126,3	9,4	6,5%	NP	NP	NP	infinito	Grava arena limosa bolos mayores a 4 pulgadas color abanó	NO TIENE	estado semisólido con comportamiento rígido
K0 +250	#2	132,3	7,7	5,7%	NP	NP	NP	infinito	bolos superiores a 6 pulgadas	NO TIENE	estado semisólido con comportamiento rígido
K0 +500	#3	132,3	7,6	5,2%	NP	NP	NP	infinito	Arena limosa poco gravas	NO TIENE	estado semisólido con comportamiento rígido
K0 + 750	# 4	130,7	7,6	7,4%	NP	NP	NP	infinito	Arena limosa pocas gravas cafés claro	NO TIENE	estado semisólido con comportamiento rígido
K1+ 000	# 5	128,1	7,2	7,8%	33%	26%	7%	3,711	Grava arena limosa color amarillo	NO TIENE	estado semisólido con comportamiento rígido

DEFLECTOMETRIA

De acuerdo a la normativa INVIAS-07 y el deseo de conocer la deflexión máxima en cada una de las abscisas se llevaron a cabo mediciones de campo cada 30 metros con una volqueta sencilla con eje trasero simple dual a partir del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 20. Resumen de las deflexiones medidas en el centro de las llantas duales y a 25 mm.

VOLQUETA HJJ 160	LECTURA DE DEFLEXION							
ABSCISA (K0 +...)	LEC. INICIAL	LEC INTERNA (EJE VERTICAL)	LEC EXTERNA (A 25 CENTIMETROS DEL EJE DE LA CARGA)	TEMPERATURA	OBSERVACIONES	DEFLEXIONES(D ₀)	DEFLEXION(D 25)	RADIO DE CURVATURA
0	0	0.2	0.08	42		0.8	0.32	122.0703125
30		0.14	0.07			0.56	0.28	199.2984694
60		0.14	0.05			0.56	0.2	279.0178571
90		0.17	0.1			0.68	0.4	114.8897059
120		0.14	0.08			0.56	0.32	174.3861607
150		0.16	0.08			0.64	0.32	152.5878906
180		0.18	0.06			0.72	0.24	180.8449074

210		0.15	0.07			0.6	0.28	186.011904 8
240		0.18	0.09	40		0.72	0.36	120.563271 6
270		0.13	0.06			0.52	0.24	250.400641
300		0.12	0.06			0.48	0.24	271.267361 1
330		0.14	0.07			0.56	0.28	199.298469 4
360		0.09	0.04			0.36	0.16	542.534722 2
390		0.13	0.08			0.52	0.32	187.800480 8
420		0.14	0.06	38		0.56	0.24	232.514881
450		0.17	0.09			0.68	0.36	127.655228 8
480		0.16	0.09			0.64	0.36	135.633680 6
510		0.19	0.09			0.76	0.36	114.217836 3
540		0.12	0.05			0.48	0.2	325.520833 3
570		0.17	0.08			0.68	0.32	143.612132 4
600		0.11	0.06	36		0.44	0.24	295.928030 3
630		0.16	0.07			0.64	0.28	174.386160 7
660		0.18	0.08			0.72	0.32	135.633680

								6
690		0.16	0.09			0.64	0.36	135.633680 6
720		0.12	0.07			0.48	0.28	232.514881
750		0.19	0.12	31		0.76	0.48	85.6633771 9
780		0.09	0.04			0.36	0.16	542.534722 2
810		0.16	0.09			0.64	0.36	135.633680 6
840		0.26	0.14		FISURAS LONGITUDINAL ES	1.04	0.56	53.6572802 2
870		0.16	0.09			0.64	0.36	135.633680 6
900		0.19	0.11		FISURAS LONGITUDINAL ES	0.76	0.44	93.4509569 4
930		0.15	0.09			0.6	0.36	144.675925 9
960		0.12	0.05			0.48	0.2	325.520833 3
990		0.09	0.04			0.36	0.16	542.534722 2

Información empleada para determinar secciones de 250 metros y estudiar su comportamiento por separado tal cual se ilustra:

Tabla 21. Necesidades de refuerzo para cada una de las secciones desde el km0+000 al km 1+000.

	k0 +000 al k0 +240	k0 +240 al k0 + 420	k0+420 al k0+600	k0+600 al k0+750	k0 +750 al k1+000
nivel de confianza	90%	90%	90%	90%	90%
Espesor promedio carpeta (cm)	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94
CTE VIGA	4	4	4	4	4
ANCHO DE CARRIL (m)	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
PRESION DE INFLADO (psi)	90	90	90	90	90
Deflexión admisible (D dan)	0.8483	0.8483	0.8483	0.8483	0.8483
Deflexión promedio (1/100 mm)	0.64	0.53	0.63	0.58	0.58
Desviación estándar	0.088	0.12	0.10	0.119	0.160
deflexión característica (1/100 mm)	0.753	0.677	0.760	0.736	0.780
m (depende del nivel de confianza)	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Coefficiente de variación	13.77%	22.23%	15.68%	20.32%	27.81%
Corrección por temperatura	0.89	0.90	0.91	0.92	0.94
DEFLEXION CORREGIDA (1/100 mm)	0.67	0.61	0.69	0.68	0.73
FACTOR DE CORRECCION POR CLIMA	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
DEFLEXION CORREGIDA POR CLIMA	0.87	0.79	0.90	0.88	0.96
RADIO DE CURVATURA (m)	114.89	120.56	114.22	135.63	85.66

OBSERVACIONES	NECESITA REFUERZO	√	NECESITA REFUERZO	NECESITA REFUERZO	NECESIDAD DE REFUERZO
---------------	-------------------	---	-------------------	-------------------	-----------------------

Así se determina que, aunque el pavimento asfáltico se encuentra en un nivel de servicio C existe la posibilidad de implementar un refuerzo con recapado asfáltico para que este dure 10 años más; en este orden de ideas se localiza dentro del ciclo de vida la estructura analizada.

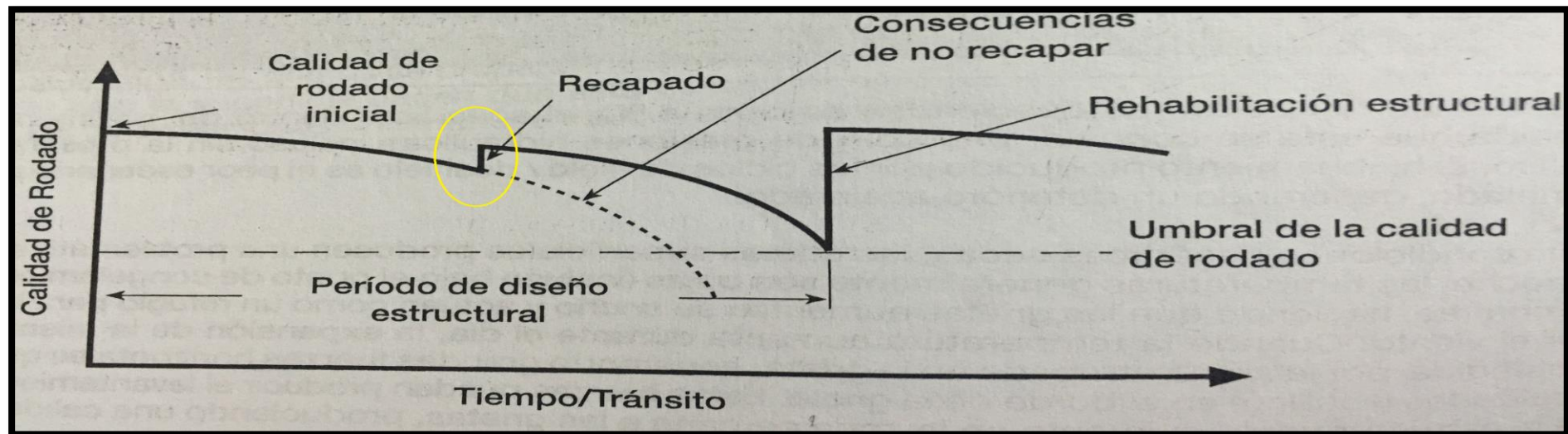


Figura 18. Ubicación de la estructura existente dentro de su ciclo de vida.

En este sentido de no llevar a cabo la intervención sugerida la tasa de deterioro del pavimento se incrementará exponencialmente hasta superar el umbral de calidad de rodado y en estas circunstancias será necesario llevar a cabo un programa de rehabilitación estructural. Con el objetivo de conocer el espesor necesario para incrementar el periodo de diseño antes de la rehabilitación se determinan los módulos elásticos de la subrasante por medio del retrocálculo con 5000 iteraciones, procedimiento que se sale del alcance de esta investigación, pero se suministran los datos que se comparan con los obtenidos en el laboratorio:

MODULO RESILIENTE APROXIMADO					MODULO RESILIENTE CALCULADO		
ABSCISA	CBR (%)	kg/cm ²	MPA	CLASIFICACION	E (módulo resiliente) MPA	E (módulo resiliente) kg/cm ²	CLASIFICACION
K0 +000	48%	4,800.00	470.88	BUENA	375	3822.62997	S5
K0+250	22%	2,200.00	215.82	BUENA	309	3149.84709	S5
K0+500	5%	500.00	49.05	POBRE A REGULAR	287	2925.58614	S5
K0+750	8%	800.00	78.48	REGULAR	193	1967.38022	S5
K1 + 000	49%	4,900.00	480.69	BUENA	215	2191.64118	S5

Tabla 22. Módulos elásticos determinados con medidas directas e indirectas.

DATOS DE RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE															
CBR MEDIDO	MODULO RESILIENTE APROXIMADO		MODULO RESILIENTE CALCULADO												
CBR(%)	KG/CM^2	MPA	MPA												
48%	4800	470,88	375												
E	E1	E2	α'	β'	Wo(deflexion de boussinesq	Wo en micrones(*10^6)	R	FW	W(deflexion maxima)	W micrones(*10^6)	W/Wo	α'/β'	$\alpha'*\beta'$		
3450	957	33	8,74183153	1,77035484	0,00289351	2893,50746	8,91929228	-0,33829005	-0,00097884	-978,844794	-0,33829005	4,93789795	15,4761437		
3830	779	30	8,42574868	1,89227584	0,00318286	3182,8582	8,63562092	-0,25984884	-0,00082706	-827,062026	-0,25984884	4,45270638	15,9438406		
4792	752	34	7,98698265	1,9557105	0,0028084	2808,40429	8,22293715	-0,16216505	-0,00045543	-455,425024	-0,16216505	4,08392891	15,6202258		
4267	778	35	8,00031249	1,86341736	0,00272816	2728,16417	8,21445824	-0,16034257	-0,00043744	-437,440863	-0,16034257	4,29335514	14,9079212		
4347	923	41	8,03419524	1,77866379	0,00232892	2328,92063	8,22872639	-0,16341342	-0,00038058	-380,576891	-0,16341342	4,51698363	14,2901322		
3584	742	36	7,80135848	1,74172841	0,00265238	2652,38183	7,99342305	-0,11521742	-0,0003056	-305,600602	-0,11521742	4,47909009	13,5878477		
4270	852	42	7,76008601	1,75395373	0,00227347	2273,47014	7,95583361	-0,10798253	-0,0002455	-245,495064	-0,10798253	4,42433907	13,6108318		
4580	741	38	7,65857501	1,8563188	0,00251278	2512,78279	7,8803357	-0,09381793	-0,00023574	-235,744091	-0,09381793	4,42567873	14,2167568		
2068	767	38	7,74712129	1,42412327	0,00251278	2512,78279	7,87692931	-0,09319018	-0,00023417	-234,166682	-0,09319018	5,43992325	11,0328557		
1041	630	33	7,60463959	1,18741956	0,00289351	2893,50746	7,6967856	-0,06133223	-0,00017747	-177,465272	-0,06133223	6,40434083	9,02989783		
2546	579	32	7,46986285	1,61632272	0,00298393	2983,92956	7,64273185	-0,05226749	-0,00015596	-155,962516	-0,05226749	4,62151696	12,073709		
3088	776	42	7,52212553	1,57434994	0,00227347	2273,47014	7,68511225	-0,05935588	-0,00013494	-134,943819	-0,05935588	4,77792476	11,8424578		
2613	794	43	7,52062237	1,47745951	0,0022206	2220,59874	7,66437521	-0,05587056	-0,00012407	-124,066094	-0,05587056	5,09023923	11,1114151		
3686	686	40	7,33766378	1,69742418	0,00238714	2387,14365	7,53143801	-0,03428428	-8,1842E-05	-81,8415009	-0,03428428	4,32282271	12,4551279		
3256	664	39	7,31988499	1,64247411	0,00244835	2448,35246	7,50189559	-0,02965987	-7,2618E-05	-72,6178205	-0,02965987	4,45662122	12,0227216		
1721	972	54	7,45693919	1,19148242	0,00176825	1768,25456	7,55152782	-0,03746425	-6,6246E-05	-66,2463254	-0,03746425	6,25853897	8,88481198		
1343	785	45	7,37941862	1,16568114	0,00212191	2121,90547	7,47091906	-0,02487634	-5,2785E-05	-52,7852319	-0,02487634	6,33056362	8,6020491		
3091	931	55	7,30576049	1,43947472	0,0017361	1736,10447	7,44622212	-0,0211098	-3,6649E-05	-36,6488107	-0,0211098	5,07529614	10,5164575		
1913	968	59	7,23009852	1,19833871	0,0016184	1618,40247	7,32873388	-0,00374994	-6,0689E-06	-6,06891575	-0,00374994	6,03343482	8,66410695		
2965	938	59	7,15462225	1,38680745	0,0016184	1618,40247	7,28778803	0,002089807	3,3821E-06	3,38214938	0,00208981	5,15905958	9,92208343		
3907	827	53	7,11016446	1,57572751	0,00180162	1801,61785	7,28267505	0,002811599	5,0654E-06	5,06542685	0,0028116	4,51230585	11,2036818		
3738	661	44	7,02079072	1,65204096	0,00217013	2170,13059	7,21254058	0,012549132	2,7233E-05	27,2332556	0,01254913	4,24976795	11,5986338		
1690	523	34	7,07637257	1,38174489	0,0028084	2808,40429	7,21001163	0,012894645	3,6213E-05	36,2133765	0,01289465	5,12133075	9,7774162		

Tabla 23.retrocalculo para determinar el módulo elástico a partir de medidas de deflexiones máximas en la subrasante para el k0+000.

Se obtiene por medio de la metodología ASSHTO-93 los siguientes espesores de refuerzo:

ABSCISA	ESPESOR DE REFUERZO(CM)
K0+000	2,45
K0+250	1,12
K0+500	2,00
K0+750	3,00
K1+000	3,26

Tabla 24. *Espesores de refuerzo recomendados para incrementar 10 años el periodo de diseño antes de una intervención a nivel de rehabilitación.*

Los cuales se deben ajustar a un mínimo de 8 cm de acuerdo a la normativa INVIAS-07

7.COSTOS

De acuerdo a lo enunciado líneas arriba a continuación se detallan los costos aproximados de la investigación desarrollada y se comparan con los costos de rehabilitación promedio en el país para una extensión de 1 kilómetro en un ancho de calzada promedio de 2.9 metros en una profundidad de 5 centímetros, características de la vía en estudio:

COSTO DE INTERVENCION A NIVEL DE RECAPADO ASFÁLTICO					
ESPESOR DE PAVIMENTO (m)	LONGITUD(m)	ANCHO DE VIA (m)	CAPACIDAD DE RECAPAR (m)	PRECIO/M3 EN NEIVA DE RODADURA ASFÁLTICA	PRECIO TOTAL
0,05	1000	5,8	290	351,000.00	\$101,790,000.00
A.I.U.					\$25,447,500.00
TOTAL					\$127,237,500.00

Tabla 25. *Espesores de refuerzo recomendados para incrementar 10 años el periodo de diseño antes de una intervención a nivel de rehabilitación.*

Valor que al ser comparado con 1 kilómetro de rehabilitación en Colombia que se encuentra aproximadamente en \$1'200,000,000 millones de pesos el gobierno departamental se estaría ahorrando en un término de 10 años aproximadamente \$1'000,000,000 millones de pesos que podrían ser invertidos en otras locomotoras del desarrollo.

CONCLUSIONES

- Se evaluaron las deflexiones máximas obtenidas para cada tramo en estudio y se determinó el módulo elástico promedio de la subrasante del K0+000 al K1+000 el modulo resiliente fue de 275,8 Mpa.
- El espesor de refuerzo para cada seccion en estudio fue de: K0+000=2,45 cm; K0+250= 1,12 cm; K0+500=2,00 cm; K0+750=3,0 cm; K1+000=3,26 cm, Los cuales se deben ajustar a un mínimo de 5 cm de acuerdo a la normativa INVIAS-07, para cumplir técnicamente con la rehabilitacion.
- Se demuestra en el presente estudio, que implementando un monitoreo en la vía Cucara Villavieja a través de un ensayo no destructivo, se puede prolongar su vida útil sin necesidad de volver a construirla de nuevo. Con este tipo de modelo se propone monitorear la vía para mantenerla en buen estado sin malgastar el presupuesto asignado a la región.
- De acuerdo al estudio realizado por medio del ensayo de la viga Benkelman doble, se demuestra que utilizando 8 cm de rodadura asfáltica en la abscisa K9+500-K10+500 se le otorgan máximo 10 años mas de servicio al kilometro en estudio, lo cual es el primer aporte a la red neuronal de rehabilitación de pavimentos flexibles.
- Se demuestra que utilizando 8 cm de rodadura asfáltica en el kilometro de estudio, se le otorgan aproximadamente 10 años mas de vida útil, con un costo aproximado de ciento veintisiete millones doscientos treinta y siete mil quinientos pesos (\$127'237.500 M.C.T)Valor que al ser comparado con 1 kilómetro de rehabilitación en Colombia que se encuentra aproximadamente en \$1'200,000,000 millones, generando un ahorro de 1'072.762.500 aproximadamente, en un periodo de 10 años, para ser invertido en otra vías o en otro tipo de infraestructura que traiga desarrollo a la región.
- Se comprueba que la falta de información vial en Colombia es uno de los factores que influye en el gasto innecesario de recursos del estado en infraestructura vial.

BIBLIOGRAFIA

- *American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO. (2002). Pavement management guide. Washington D.C:*
- *Benkelman, C., Castillo, D. & Gordillo, C. (2001). Evaluación de Pavimentos. Popayán: Universidad del Cauca.*
- *Higuera, C.H. (1984). Conferencia y apuntes de pavimentos. XVII Curso de Especialización en Vías. Popayán: Instituto de posgrado en Vías e Ingeniería Civil. Universidad del Cauca.*
- *Higuera, C.H. Actualización en vías. (1990). Santiago de Cali: Asociación de Ingenieros del Valle.*
- *Higuera, C.H. (1997). Conferencias y apuntes de pavimentos. Especialización en Carreteras. España: Universidad Politécnica de Madrid.*
- *Higuera, C.H. (2005). Conferencias de rehabilitación de pavimentos. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.*
- *Higuera, C.H. (2008). Mecánica de pavimentos. Principios básicos. ISBN 978-958-660-122-1. Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.*
- *Mario S. Hoffman, PhD. y Pablo M. del Aguila, B.Sc. (1985). Estudios de Evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos) paginas 17 -18.*
- *Instituto Nacional de Vías INVÍAS. (1998). Diseño de pavimentos asfálticos para vías de bajo y medianos volúmenes de tránsito. Bogotá.*
- *Organización de Carreteras de Europa OCDE (1987),*
- *Sánchez, F. (1985). Pavimentos. Materiales para la construcción, evaluación de pavimentos en servicio, diseño de obras de mejoramiento. Tomo II. Bogotá: Universidad la Gran Colombia.*
- *Universidad del cauca. (1993). Programa INPACO. Módulo DEFLEX. Popayán.*

ANEXO A



Figura 19. Perfil estratigráfico km 0+000 vía cucara-Villavieja.

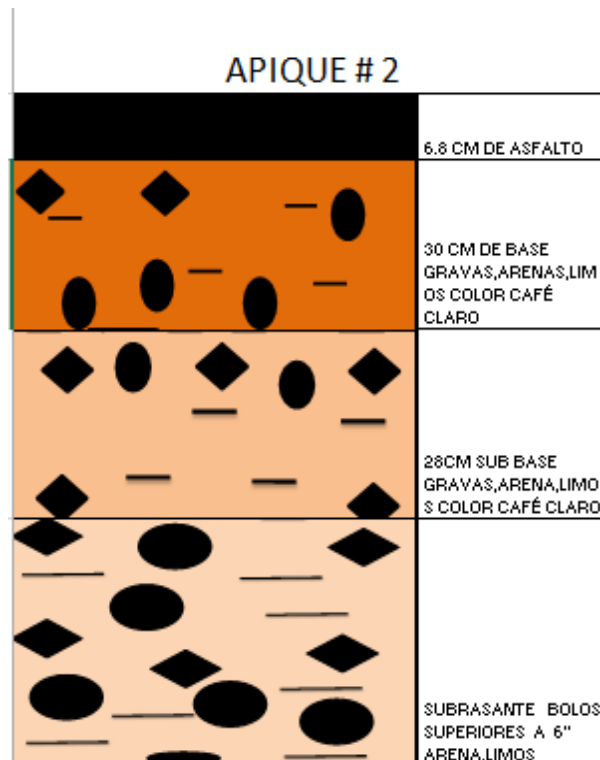


Figura 20. Perfil estratigráfico km 0+250 vía cucara-Villavieja.

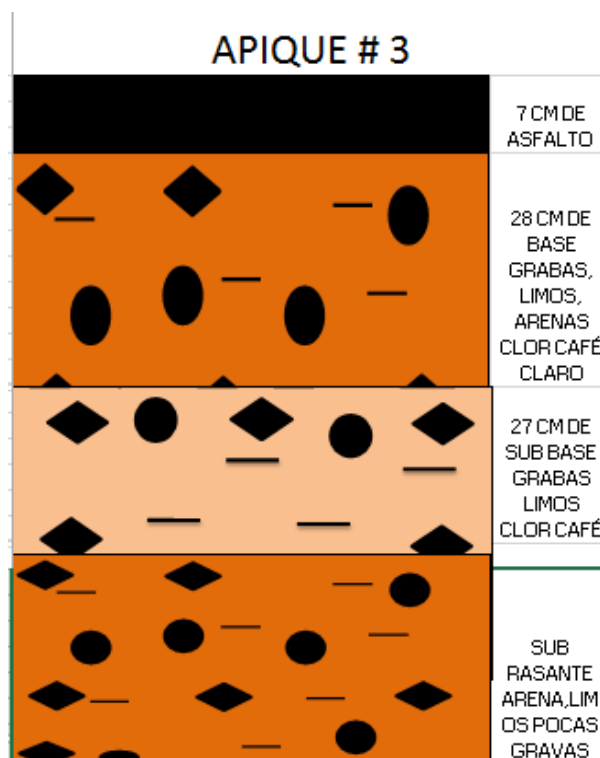


Figura 21. Perfil estratigráfico km 0+500 vía cucara-Villavieja.

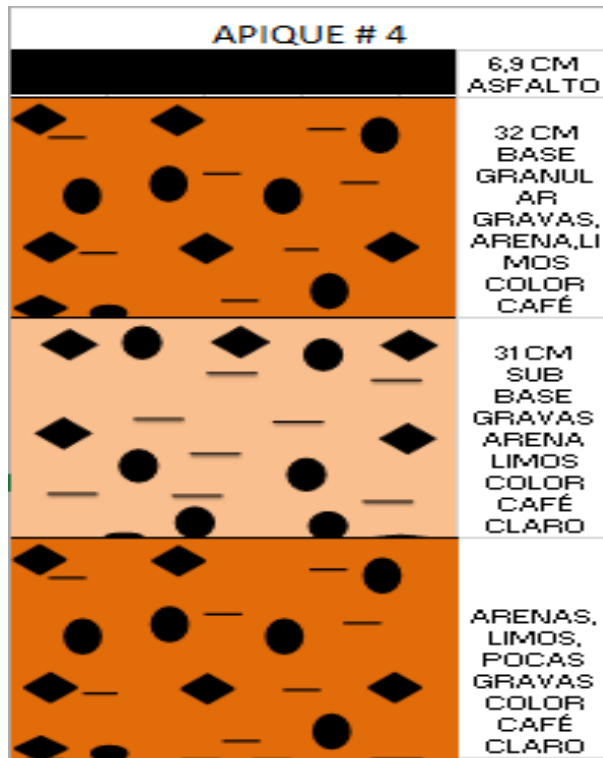


Figura 22. Perfil estratigráfico km 0+750 vía cucara-Villavieja.

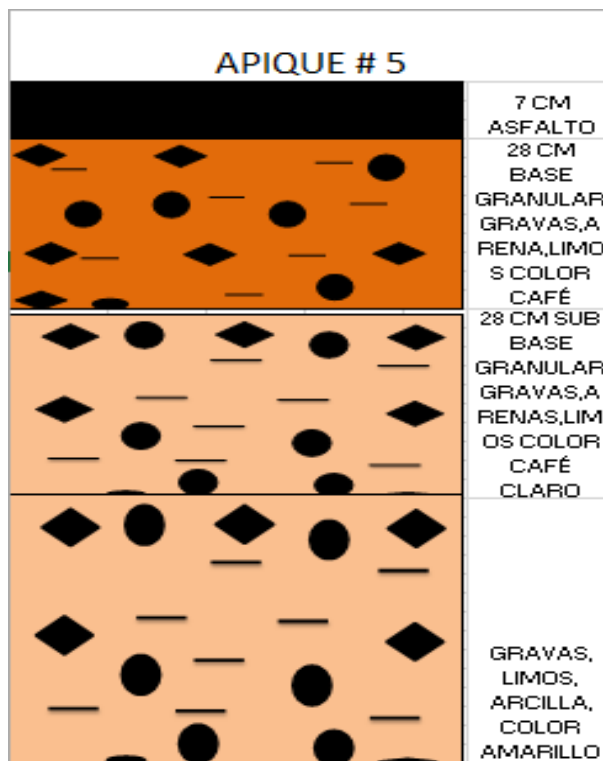


Figura 23. Perfil estratigráfico km 1+000 vía cucara-Villavieja.