



COMPARACIÓN DE ALGUNAS DE LAS METODOLOGÍAS EMPLEADAS PARA LA OBTENCIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES CON INFORMACION OBTENIDA A TRAVÉS DEL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD) Y EL CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR).

TRABAJO DE GRADO, MODALIDAD INVESTIGACIÓN



**EDUAR FABIAN BRAVO ALVAREZ
CÓD. 100414020587**

Trabajo de investigación para optar al título de INGENIERO CIVIL

**Director de trabajo de investigación:
Ph.D. JAIME RAFAEL OBANDO ANTE**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN – CAUCA
2022**



Nota de aceptación

El Director y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por sus autores y lo encontraron satisfecho.

Prof. Jaime Rafael Obando Ante
Doctor en Ingeniería Geotecnia
Director

Prof. Henry Mauricio Muñoz Trochez
Docente Departamento de Geotecnia
Jurado

Prof. Luis Fernando Garces Muñoz
Docente Departamento de Geotecnia
Jurado

Popayán, 29 de noviembre de 2022



Agradecimientos

Quiero agradecer a todas las personas que han hecho parte de la formación, profesional y personal.

A mis padres Edilma y Jorge por la confianza que han depositado en mí, a mis amigos, a mis profesores por todas las cosas aprendidas y compartidas a lo largo de estos años.

*Quiero hacer un reconocimiento especial a la memoria de mi abuela Martha Araujo.
Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo.*

Al ingeniero Jaime Rafael Obando por haberme compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad. Gracias a él nació esta investigación.

Por último, quiero agradecer a la Universidad del Cauca y a la Facultad de Ingeniería Civil, me siento orgulloso de mi Alma Mater y me gustaría poder seguir trabajando en investigaciones futuras de la Universidad.

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

Resumen

Los métodos para encontrar el módulo resiliente de la subrasante a partir de un estudio deflectométrico e índice CBR, son cuantiosos y difieren en sus métodos y resultados. Lo anterior, hace que exista una incertidumbre en la práctica de la ingeniería o que se incurra en sobrevalorar el estado estructural de una subrasante en un pavimento flexible. Este trabajo busca comparar las diferentes metodologías a partir de un método no destructivo como lo es el deflectómetro de impacto (FWD), para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante sobre pavimento flexible: 1) AASTHO 93, 2) LUKANEN, 3) Federal Highway Administration (FHWA) o Método de HOGG modificado, 4) YONOPAVE, 5) Washington State Department of Transportation (WSDOT), para comparar sus resultados con un método destructivo como lo es el índice CBR en condiciones de humedad natural y saturado. Dentro de la metodología se pretende calcular el factor de ajuste para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante (M_r) a partir del módulo resiliente de retrocálculo de la subrasante (M_{rr}). Los resultados que se obtuvieron en el desarrollo del análisis nos llevan a ultimar que la correlación entre los resultados de las metodologías para el cálculo del módulo resiliente de retrocálculo (M_{rr}), obtienen un $r^2 > 0.9$, exceptuando la metodología de LUKANEN, otro resultado importante es que la correlación entre el módulo resiliente de la subrasante (M_r) calculado a partir del índice CBR y el módulo resiliente de la subrasante calculado a partir de un estudio deflectométrico tienen un $r^2 > 0.9$, exceptuando la metodología de LUKANEN, y por último se pudo observar que el valor del factor de ajuste varía de acuerdo a la metodología aplicada para el cálculo del (M_r) a partir de las deflexiones. Dentro de las conclusiones más importantes que se tiene es que la deflectometría ofrece un análisis rápido y económico del comportamiento estructural

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

en condiciones de servicio de un pavimento flexible; lo que nos ofrece una posibilidad de tomar decisiones oportunas respecto al mantenimiento y preservación de la red vial colombiana.

Palabras clave: deflectometría, CBR, módulo resiliente de la subrasante, AASTHO 93, YONOPAVE, WSDOT.

Abstract

There are numerous methods to determine the subgrade resilient modulus from deflectometric study and CBR value, which vary among them in their results and developments. As a result, this leads to uncertainty in engineering practice or to structural overestimation of subgrades in flexible pavements. This research compares the different methodologies based on the non-destructive method such as falling weight deflectometer (FWD) throughout the determination of the subgrade resilient modulus according to the recommendations of the following sources: 1) ASTHOO 93, 2) LUKANEN, 3) Federal Highway Administration (FHWA) or HOGG Modified Method, 4) YONOPAVE, 5) Washington State Department of Transportation (WSDOT), and the comparison of their results with the destructive method (CBR index) under natural and saturated humidity conditions. According to the methodology, the adjustment factor for the calculation of the subgrade resilient modulus (M_r) is calculated throughout the retro-calculation subgrade resilient modulus (M_{rr}). First, the results obtained in the development of the analysis allowed to identify that the correlation between the results of the different methodologies used to the M_{rr} obtained a $r^2 > 0.9$, except for the LUKANEN methodology. Second, the correlation between the M_r determined from both the CBR index and the deflectometric

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

study reached a $r^2 > 0.9$, except for the LUKANEN methodology. Finally, it is concluded that the value of the adjustment factor varies according to the methodology applied for the M_r calculation through the deflections given by FWD. In this research, the most relevant conclusions reached is that deflectometry technology offers a fast and economic analysis of the structural flexible pavement behavior under service conditions, which might aid in making timely decisions regarding the maintenance and preservation of the Colombian roads.

Keywords: deflectometry, CBR, subgrade resilient modulus, ASTHOO 93, YONOPAVE, WSDOT.

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 General.....	3
1.2.2 Específicos.....	3
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Planteamiento del problema.....	4
1.5 Estructura.....	5
2. Marco teórico.....	6
2.1 Concepto De Deflexión:.....	6
2.2 Fundamentos Del Deflectómetro De Impacto:.....	7
2.3 Deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20:.....	9
2.4 Retrocálculo o Cálculo Inverso:.....	10
2.5 Metodologías Por Cálculo Directo Aplicadas Para La Determinación De Parámetros Estructurales De Pavimentos Flexibles:.....	11
2.5.1 AASHTO 1993:.....	11
2.5.2 Modelo De Hogg:.....	15
2.5.3 Método De LUKANEN:.....	16
2.5.4 Método De YONAPAVE:.....	18

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

2.5.5 Método Por El Washington State Department of Transportation (WSDOT):	20
2.5.6 Método de la Federal Highway Administration (FHWA) o Método de HOGG modificado:.....	22
2.5.1 Método de Rohde:.....	25
2.5.2 Método de Darter:.....	26
2.6 Ensayo De CBR Valor Soporte California (CBR, AASHTO T-193):	27
2.6.1 Heukelom & Foster (1960) y Heukelom & Klomp (1962):	28
2.6.2 Green & Hall (1975).....	28
2.6.3 Uzan et al. (1977):	28
2.6.4 Powell et al. (1984):.....	28
2.6.5 Lister & Powell (1987):.....	29
2.6.6 Ayres (1997):.....	29
2.6.7 Reyes (2003):.....	29
2.6.8 El MOP de Chile (2004):.....	29
2.7 Ecuación constituyente del módulo resiliente de la sub-rasante.	30
2.7.1 Módulo resiliente en sub-rasante (M_r), curvas de retención de humedad (análisis de succión).	32
2.8 Variable clima en el cálculo del módulo resiliente de diseño.	34
3. Metodología.....	35

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

3.1 Metodología para la toma de datos en campo con el deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20 y su postproceso para la determinación del módulo resiliente de la subrasante (Mr).....	37
3.1.1 Datos de Campo.....	39
3.1.2 Chequeo temperatura de ensayo:	40
3.1.3 Datos del proyecto:	42
3.1.4 Estructura del pavimento:	43
3.1.5 Sectorización deflectometría:	43
3.1.6 Deflexión bajo el plato de carga y radio de curvatura del tramo total:.....	46
3.1.7 Deflexión bajo el plato de carga y radio de curvatura de los sectores homogéneos.....	47
3.1.8 Corrección deflexiones por carga, temperatura y cálculo del módulo resiliente de la sub-rasante.	50
3.1.9 Secciones estructurales.	54
3.1.1 Resumen.	57
3.2 Metodología para la determinación del módulo resiliente de la subrasante (Mr) a partir del California Bearing Ratio (CBR).	58
4. Resultados deflectometría, Popayán – El Tambo.	63
4.1 Deflectometría Popayán – El Tambo.....	63
4.1.1 Chequeo temperatura de ensayo.	63
4.1.2 Datos del proyecto.	63

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

4.1.3 Estructura del pavimento.	64
4.1.4 Sectorización deflectometría.	64
4.1.5 Deflexión bajo el plato de carga y radio de curvatura del tramo total, carril derecho.	65
4.1.1 Deflexión bajo el plato de carga y radio de curvatura para los tramos homogéneos, carril derecho.....	66
4.1.2 Corrección deflexiones por carga, temperatura y cálculo del módulo resiliente de la sub-rasante.	68
4.1.1 Secciones estructurales.	75
4.1.2 Resumen.	76
5. Resultados del California Bearing Ratio CBR, Popayán – El Tambo.....	78
5.1 Determinación módulo resiliente de la subrasante (Mr) a partir del California Bearing Ratio, Popayán- El Tambo.....	78
5.1.1 Determinación de los tramos homogéneos CBR Popayán – El Tambo.	78
5.1.2 Cálculo de módulo resiliente de la subrasante a partir del CBR.	81
5.1.3 Resumen.	84
6. Análisis de resultados.	85
6.1 Influencia del contenido en agua en el módulo resiliente de la subrasante (Mr).	85
6.2 Factor de ajuste entre el módulo resiliente de retrocálculo de la subrasante y el módulo resiliente de la subrasante.....	86

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

6.3 Correlación entre las diferentes metodologías para calcular el módulo resiliente de la subrasante a partir de los datos de la deflectometría.	90
6.4 Correlación entre el módulo resiliente de la subrasante (M_r) obtenido mediante valores del CBR, con el módulo resiliente de la subrasante (M_r) obtenido mediante las diferentes metodologías para calcularlo a partir de los datos de la deflectometría.	94
6.5 Utilización del módulo de resiliencia de la subrasante en los métodos de diseño de pavimentos flexibles.....	98
6.5.1 Método diseño de pavimentos ASTHOO	98
6.5.2 Métodos mecanicistas.....	100
7. Conclusiones y recomendaciones.	102
7.1 Conclusiones.....	102
7.2 Recomendaciones.	104
8. Anexo.....	106
8.1 Estudio deflectometría Popayán – El Tambo.	106
8.1.1 Carril Derecho.	106
8.1.2 Carril Izquierdo.....	125
8.2 Estudio Geotécnico Popayán – El Tambo.	144
8.2.1 Resumen resultados de laboratorio, Popayán - El Tambo.....	144
8.2.2 Sectorización ensayo de CBR, Popayán – El Tambo.....	153
9. Lista de referencias.....	156

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

Lista de tablas

Tabla 1 Coeficientes para el método LUKANEN.	18
Tabla 2 Coeficientes de ajuste método YONOPAVE.	20
Tabla 3 Parámetros método de la Federal Highway Administration (FHWA).	25
Tabla 4 Coeficientes de la fórmula de Rohde.....	26
Tabla 5: Datos del proyecto carril derecho.	63
Tabla 6: Tramos homogéneos carril derecho.....	65
Tabla 7 : Resultados estadísticos tramo total carril derecho.....	65
Tabla 8: Resultados estadísticos tramos homogéneos carril derecho.	67
Tabla 9: Corrección deflexiones por carga y temperatura carril derecho.	68
Tabla 10. Módulo resiliente de retrocálculo carril derecho.....	71
Tabla 11. Secciones estructurales tramos homogéneos carril derecho.	76
Tabla 12. Resumen deflectometría carril derecho.	76
Tabla 13. Resumen deflectometría carril izquierdo.	77
Tabla 14. Resumen resultados CBR Popayán – El Tambo.	79
Tabla 15. Tramos homogéneos CBR Popayán – El Tambo.	80
Tabla 16. Cálculo de módulo resiliente de la subrasante a partir del CBR Popayán – El Tambo.....	81
Tabla 17. Resumen valores CBR Popayán – El Tambo.	84
Tabla 18. Resumen módulo resiliente de la subrasante por correlación con el CBR Popayán – El Tambo.	84
Tabla 19. Factor de ajuste calculado.....	88

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

Lista de tablas anexo

Tabla anexo 1. Chequeo Temperatura, Popayán – El Tambo, Carril Derecho.	106
Tabla anexo 2. Datos deflectometría, Popayán – El Tambo, carril derecho.....	110
Tabla anexo 3. Espesores del pavimento, Popayán – El Tambo, Carril Derecho.	114
Tabla anexo 4. Sectorización deflectometría, Popayán – El Tambo, carril derecho....	116
Tabla anexo 5. Módulo resiliente de retrocálculo, Popayán – El Tambo, carril derecho.	120
Tabla anexo 6. Resumen deflectometría módulo resiliente de retrocálculo (Mrr), Popayán – El Tambo, carril derecho.	124
Tabla anexo 7. Resumen deflectometría módulo resiliente de la subrasante (Mr), Popayán – El Tambo, carril derecho.	124
Tabla anexo 8. Chequeo Temperatura, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.....	125
Tabla anexo 9. Datos deflectometría, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.	129
Tabla anexo 10. Espesores del pavimento, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.....	132
Tabla anexo 11. Sectorización deflectometría, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.	135
Tabla anexo 12. Módulo resiliente de retrocálculo, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.	139
Tabla anexo 13. Resumen deflectometría módulo resiliente de retrocálculo (Mrr), Popayán – El Tambo, carril derecho.	142
Tabla anexo 14. Resumen deflectometría módulo resiliente de la subrasante (Mr), Popayán – El Tambo, carril derecho.	143
Tabla anexo 15. Tabla resumen resultados de laboratorio, Popayán - El Tambo.	144
Tabla anexo 16. Sectorización ensayo de CBR, Popayán – El Tambo.	153

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

Lista de figuras

Figura 1 Esquema de un cuenco de Deflexión	6
Figura 2 Esquema deflectómetro de impacto (FWD)..	8
figura 3 Deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20	9
Figura 4 Datos requeridos para el cálculo directo y el cálculo inverso.	10
Figura 5 Comparación del cuenco de deflexión medido y teórico.	11
Figura 6 Geometría del modelo de Hogg.	16
figura 7 Relación entre el CBR y el módulo resiliente (M_r) de la Subrasante	30
figura 8 Popayán – El Tambo (Pr Inicial: 58 + 050 Pr Final: 28 + 000)	37
figura 9. Formato de datos crudos exportados del deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20	38
figura 10. Hoja: Datos de Campo	40
figura 11. Hoja: Chequeo temperatura de ensayo.	41
figura 12. Hoja: Vista previa.	41
figura 13. Hoja: Datos del proyecto.	42
figura 14. Hoja: Estructura de pavimento.	43
figura 15. Hoja: Deflectometría.	44
figura 16. Gráfica sectorización deflectometría.	45
figura 17. Gráfica D_{0c} 1/100 mm vs Abscisa.	45
figura 18 Hoja: D_{0c} - R_c tramo total.	46
figura 19 Radio de curvatura vs abscisa	47
figura 20 Deflexión bajo el plato de carga vs abscisa	47
figura 21 Sectorización de la vía.	48

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

figura 22 Resultados estadísticos sectores homogéneos.....	49
figura 23 Radio de curvatura vs abscisa sectores homogéneos.....	50
figura 24 Deflexión bajo el plato de carga vs abscisa sectores homogéneos.....	50
figura 25 Coeficiente de ajuste por temperatura. Pavimentos flexibles con base granular.	52
figura 26 : Coeficiente de ajuste por temperatura. Pavimentos semirrígidos con base tratada.....	52
figura 27 Procesamiento deflexiones.....	53
figura 28 Procesamiento parámetros estructurales.....	54
figura 29 Resultados estadísticos parámetros estructurales.....	55
figura 30 Modulo resiliente de diseño (Mr) vs abscisa.....	56
figura 31 Modulo efectivo (Ep) vs abscisa.....	56
figura 32 Número estructural efectivo (S _{Neff}).....	57
figura 33 Resumen deflectometría.....	58
figura 34 Espaciamiento Sugerido en Exploración en función del Transito.....	59
figura 35 Distribución apiques Popayán – El Tambo.....	60
figura 36 Apique No. 2.....	60
figura 37. Sectorización deflectométrica Popayán – El Tambo, carril derecho.....	64
figura 38. Radio de curvatura tramo total, carril derecho.....	66
figura 39. Deflexión bajo el plato de carga tramo total, carril derecho.....	66
figura 40. Radio de curvatura tramos homogéneos, carril derecho.....	67
figura 41. Deflexión bajo el plato de carga tramos homogéneos carril derecho.....	68
figura 42. Módulo resiliente de retrocálculo.....	75

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

figura 43. Tramos homogéneos CBR tramo Popayán –El Tambo.	80
figura 44. Módulo resiliente de la subrasante a partir del CBR Popayán – El Tambo... ..	83
figura 45. Influencia del contenido en agua en el módulo resiliente de la subrasante (Mr)	85
figura 46. Módulo resiliente de retrocálculo (Mrr), carril izquierdo.	88
figura 47. Módulo resiliente de la subrasante (Mr), carril izquierdo.....	89
figura 48. Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm ²) ASTHOO 93 vs Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm ²) LUKANEN.....	91
figura 49. Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm ²) ASTHOO 93 vs Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm ²) FHWA	91
figura 50. Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm ²) ASTHOO 93 vs Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm ²) YONOPAVE	92
figura 51. Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm ²) ASTHOO 93 vs Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm ²) WSDOT.....	92
figura 52. Módulo resiliente a partir de CBR (Kg/cm ²) - Lister & Powell vs	94
figura 53. Módulo resiliente a partir de CBR (Kg/cm ²) - Lister & Powell vs	95
figura 54. Módulo resiliente a partir de CBR (Kg/cm ²) - Lister & Powell vs	95
figura 55. Módulo resiliente a partir de CBR (Kg/cm ²) - Lister & Powell vs	96
figura 56. Módulo resiliente a partir de CBR (Kg/cm ²) - Lister & Powell vs	96
figura 57. Sección típica de un pavimento flexible.	101

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Módulo resiliente por retrocálculo de la subrasante.	12
Ecuación 2 Módulo resiliente por retrocálculo de la subrasante asumiendo una relación de Poisson de 0.5	13
Ecuación 3 Radio del bulbo de tensión en la interface pavimento-subrasante.	13
Ecuación 4 Distancia mínima del radio.	14
Ecuación 5 Deflexión medida en el centro del plato de carga.....	14
Ecuación 6 Módulo resiliente de diseño con retrocálculo	15
Ecuación 7 Número estructural efectivo del pavimento.....	15
Ecuación 8 Radio donde la deflexión es la mitad de la deflexión central.	17
Ecuación 9 Longitud característica.....	17
Ecuación 10 Relación entre la rigidez por carga puntual y la rigidez por carga distribuida sobre la superficie del pavimento.	17
Ecuación 11 Modulo resiliente de la subrasante según LUKANEN.	17
Ecuación 12 Numero estructural del pavimento según LUKANEN.	18
Ecuación 13 Área del cuenco de deflexión.....	19
Ecuación 14 Longitud característica a partir del área del cuenco de deflexiones.	19
Ecuación 15 Modulo resiliente de la subrasante según YONAPAVE.	19
Ecuación 16 Numero estructural del pavimento según YONAPAVE.	20
Ecuación 17 Modulo resiliente de la subrasante según WSDOT.	20
Ecuación 18 Módulo de elasticidad de la base granular según WSDOT.	20
Ecuación 19 Módulo de elasticidad del pavimento asfaltico según WSDOT.	21

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

Ecuación 20 Área aproximada bajo el cuenco de deflexión hasta 90 cm del punto de aplicación de la carga.	21
Ecuación 21 Modulo resiliente de la subrasante según FHWA.	22
Ecuación 22 Radio donde la deflexión es la mitad de la deflexión central.	22
Ecuación 23 Coeficiente α para la curva de ajuste según FHWA.	22
Ecuación 24 Coeficiente β para la curva de ajuste según FHWA.	22
Ecuación 25 Ecuación 24 Coeficiente B para la curva de ajuste según FHWA.	22
Ecuación 26 Largo característico.....	22
Ecuación 27 Relación entre la rigidez por carga puntual y la rigidez por carga distribuida sobre la superficie del pavimento.	23
Ecuación 28 Modulo compuesto del paquete estructural completo bajo el plato de carga.	23
Ecuación 29 área bajo los primeros 305 mm del cuenco de deflexión.....	23
Ecuación 30 Factor de área.....	23
Ecuación 31 módulo de elasticidad combinado de las capas del pavimento.....	23
Ecuación 32 Coeficiente formula módulo de elasticidad combinado de las capas del pavimento.	23
Ecuación 33 Módulo de elasticidad de la base	23
Ecuación 34 Módulo resiliente de la subrasante.....	25
Ecuación 35 Número estructural efectivo propuesto por Rohde.	26
Ecuación 36 Modulo resiliente de la subrasante con deflexión medida a 600 mm del centro de aplicación de carga.	26

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y el California Bearing Ratio (CBR).

Ecuación 37 Modulo resiliente de la subrasante con deflexión medida a 900 mm del centro de aplicación de carga.	26
Ecuación 38 Modulo resiliente de la subrasante con deflexión medida a 1200 mm del centro de aplicación de carga.	26
Ecuación 39 Definición CBR	27
Ecuación 40 correlación CBR Heukelom & Foster y Heukelom	28
Ecuación 41 Correlación CBR Green & Hall.....	28
Ecuación 42 Correlación CBR Uzan et al.	28
Ecuación 43 Correlación CBR Powell et al.....	28
Ecuación 44 Correlación CBR Lister & Powell.....	29
Ecuación 45 Correlación CBR Ayres	29
Ecuación 46 Correlación CBR Reyes.....	29
Ecuación 47 Correlación CBR El MOP de Chile.....	29
Ecuación 48 Modelo constitutivo generalizado.....	31
Ecuación 49 Modelo de Van Genuchten	32
Ecuación 50 Módulo resiliente de diseño.....	34
Ecuación 51 Z_x : Medida estadística.	44
Ecuación 52 Corrección deflexión por carga.....	51
Ecuación 53 Factor de ajuste entre el módulo resiliente de retrocálculo de la subrasante y el módulo resiliente de la subrasante.....	86
Ecuación 54. Ecuación de diseño de pavimentos flexibles ASTHOO 93	98

1. Introducción

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo la comparación de los resultados arrojados por las diferentes metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante (M_r), utilizando las deflexiones obtenidas a través del deflectómetro de impacto (FWD) y los índices CBR obtenidos en el laboratorio.

Se procedió a procesar la información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWD) y los índices CBR obtenidos en el laboratorio para el tramo Popayán – El Tambo (Categorización: Primer orden, Código vía: 2001, Tramo: Conexión Costa Pacífica - Troncal de Occidente, Pr Inicial : 58 + 050 Pr Final : 28 + 000), la información de campo y laboratorio fue tomada de la consultoría “ESTUDIOS Y DISEÑOS DE FACTIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL MARCO DEL PROYECTO DE REGALIAS CONSTRUCCION DE LA CONEXIÓN POPAYAN – GUAPI SECTOR POPAYAN - EL TAMBO – EL PLATEADO- GUAPI Y CONEXIÓN ARGELIA – EL PLATEADO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA”. Para el procesamiento de la información se procederán a programar hojas de cálculo buscando aumentar la productividad y enfocarse en el análisis de los resultados obtenidos mediante las diferentes metodologías para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante (M_r) a través de la información obtenida por el deflectómetro de impacto (FWD), y en cuanto al cálculo del módulo resiliente de la subrasante (M_r) a partir de los índices CBR, se procederá a utilizar las fórmulas obtenidas por correlaciones que se encontraron en la búsqueda bibliográfica para la determinación del módulo resiliente (M_r) a partir del índice CBR; a partir de los resultados arrojados por

las diferentes metodologías se procedió a hacer un análisis estadístico, encontrando algunas conclusiones y recomendaciones en cuanto a la selección de la metodología que mejor se ajusta a las características propias de nuestros suelos, para la determinación del módulo resiliente de la subrasante (M_r) a partir de un estudio deflectométrico.

1.1 Justificación

La investigación de esta problemática se realiza con el interés de conocer el comportamiento estructural del suelo de fundación de un pavimento flexible (sub-rasante), mediante las deflexiones medidas en campo por el deflectómetro de impacto (FWD). Esto permitirá evaluar las diferentes metodologías que existen al momento de determinar el comportamiento estructural de la subrasante mediante deflexiones medidas en campo; como también nos permitirá comparar los módulos resilientes (M_r) obtenidos mediante el análisis de las deflexiones, con los módulos obtenidos mediante correlaciones a partir del ensayo CBR. Con esto se pretende impulsar el uso del deflectómetro de impacto (FWD) en Colombia como herramienta de diagnóstico para pavimentos flexibles debido a la rapidez con la que se pueden tomar los datos en campo y con las ventajas que trae al ser un método no destructivo.

1.2 Objetivos

A continuación, se hace mención del objetivo general y específicos.

1.2.1 General

Comparar los resultados de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante (M_r) obtenidos a partir del deflectómetro de impacto (FWD) e índice CBR.

1.2.2 Específicos

- Programar scripts en Visual Basic para el tratamiento de los datos obtenidos en un estudio deflectométrico.
- Desarrollar las diferentes metodologías para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante a partir de los datos obtenidos por el deflectómetro de impacto (FWD).
- Aplicar las diferentes metodologías para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante a partir de los datos obtenidos de los índices CBR.
- Realizar un análisis y conclusión de los resultados obtenidos.

- Impulsar la investigación en deflectometría en la Universidad del Cauca.

1.3 Hipótesis

Con en análisis y comparación de los resultados del módulo resiliente de la subrasante (M_r), obtenido a través de los datos de las deflexiones medidas en campo por el deflectómetro de impacto (FWD) y los índices CBR medidos en laboratorio, podremos inferir acerca de las metodologías utilizadas en la investigación para la determinación del mencionado parámetro estructural de la subrasante, para proponer cuál podría ser la que mejor se ajusta a las características de nuestros suelos. De este modo contribuir a una mejor estimación del módulo resiliente de la subrasante (M_r) y así aportar en la preservación de la red vial colombiana.

1.4 Planteamiento del problema

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas, cabe resaltar, es que, si bien existen diferentes metodologías para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante (M_r), a partir de las deflexiones medidas en campo por el deflectómetro de impacto (FWD), estas difieren en sus resultados debido a que algunas se desarrollaron mediante análisis empíricos, por tanto, es correspondiente analizar el módulo resiliente de la subrasante (M_r) resultante al evaluar las diferentes metodologías que se emplean actualmente para determinar el comportamiento estructural de la subrasante,

.mediante deflexiones medidas en campo y finalmente proponer la metodología que mejor representa la respuesta esperada en campo.

1.5 Estructura

En el *primer capítulo* se da una introducción del trabajo con sus respectivas características y brindando una ambientación detallada de todo el documento, en el *segundo capítulo* se hace referencia al marco teórico y toda la base fundamental para el desarrollo del tema y respectivo problema, en el *tercer capítulo* se menciona la metodología desarrollada para el procesamiento de los datos obtenidos por el deflectómetro de impacto (FWD), en el *cuarto capítulo* se presentan los resultados obtenidos del módulo resiliente (M_r) de la sub-rasante a partir de las deflexiones medidas en campo , en el *quinto capítulo* se presentan los resultados obtenidos del módulo resiliente (M_r) de la sub-rasante a partir del California Bearing Ratio (CBR), en el *sexto capítulo* el análisis de los resultados, y por último, en el *séptimo capítulo* se muestran las conclusiones.

2. Marco teórico

2.1 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 (Torres et al.,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 (Torres Mauricio,2002).

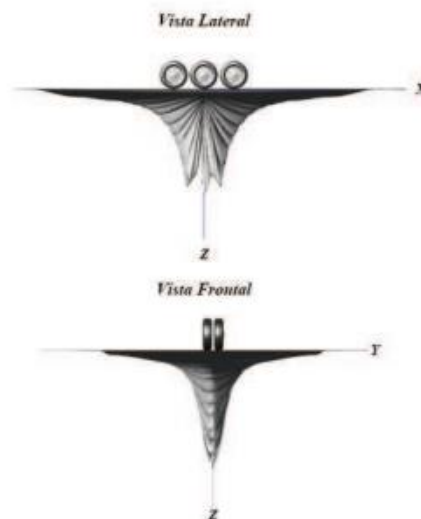


Figura 1 Esquema de un cuenco de Deflexión

Fuente: (Higuera Sandoval,2008)

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 (Higuera Carlos,2009).

2.2 Fundamentos Del Deflectómetro De Impacto:

El deflectómetro de impacto genera un cuenco de deflexión, y la caracterización del cuenco determina una serie de parámetros que permiten calcular la capacidad de la subrasante de una estructura de pavimento (Torres Mauricio,2002).

Los ensayos de impacto son muy utilizados para determinar la resistencia de la subrasante con el equipo denominado deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer –FWD–); dado que son no destructivos, constituyen una tecnología muy valiosa y rápida, que cuando se aplica adecuadamente provee una vasta información a muy razonables costos y tiempo (Higuera Carlos,2009).

El deflectómetro de impacto se fundamenta en la generación de una onda de carga en el pavimento o sobre la capa por estudiar. La onda es ocasionada por el impacto de la caída de una masa, y es transmitida al pavimento por medio de un sistema de amortiguadores elásticos apoyados sobre una placa de carga (Higuera Carlos,2009)

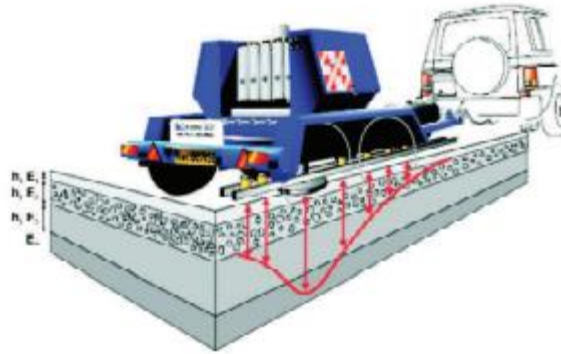


Figura 2 Esquema deflectómetro de impacto (FWD).

Fuente: Presentación Simproma Argentina S. A.

Tanto la masa como su altura de caída y el sistema de amortiguadores elásticos pueden ser variados, para generar el impacto deseado en el pavimento o en la subrasante por evaluar.

Los sensores, generalmente, se localizan a una distancia “r” de 0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 cm, medida entre el eje de carga del sistema y el sitio de ubicación de cada sensor.

La deflexión “dr” registrada por un sensor ubicado a una distancia “r” del eje de carga es debida a la deformación de la porción del pavimento que se encuentra dentro de la zona de tensión generada por el impacto sobre el pavimento o la subrasante.

Conocida la carga, la relación de Poisson de la subrasante, el diámetro del plato de carga y la deflexión, se puede calcular el valor del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles y el módulo de reacción de la subrasante en pavimentos rígidos, así como el de las distintas capas de una estructura del pavimento, mediante el procedimiento conocido como retrocálculo o cálculo inverso (Higuera Carlos,2009).

2.3 Deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20:

El JILS 20 FWD está montado en un tráiler de doble eje que puede ser remolcado por una camioneta, camión o un vehículo similar.

Dimensiones:

- Peso 1,723.6kg (3,800 libras)
- Longitud 4,369mm (172 pulgadas)
- Ancho 1,829mm (72 pulgadas)

Características:

- Tráiler de Doble Eje
- Frenos Hidráulicos
- Secuencia de 4 caídas automatizadas en 30 segundos La información se captura desde 1-35 caídas en cada ubicación con hasta 35 fuerzas.



figura 3 Deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20

Fuente: JILS Falling Weight Deflectometers

2.4 Retrocálculo o Cálculo Inverso:

El proceso de retrocálculo es una técnica empleada para evaluar la capacidad estructural de un pavimento que consiste en la determinación de los valores de los módulos de cada una de las capas a partir de las deflexiones medidas sobre su superficie. (Higuera Carlos,2009).

Este procedimiento también es conocido como cálculo inverso debido a que los datos de entrada son la curva de deformación del pavimento, el espesor de cada una de las capas del pavimento y la carga aplicada a la estructura.

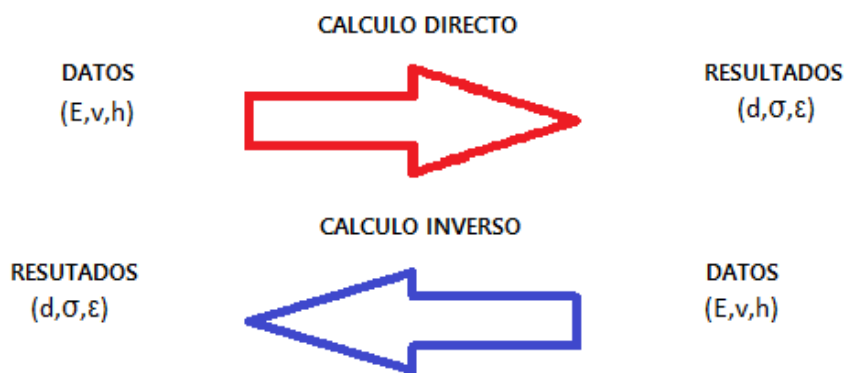


Figura 4 Datos requeridos para el cálculo directo y el cálculo inverso.

Fuente: Elaboración propia.

El retrocálculo involucra el cálculo de deflexiones teóricas asumiendo en primera instancia algunos valores predeterminados para los módulos de cada una de las capas.

Estos valores teóricos de deflexión son comparados con los valores de deflexión medidos a través de equipos como el FWD. Mediante un proceso iterativo se ajustan las curvas de deformación teóricas y medidas hasta que presenten un ajuste razonable; cuando esto ocurre, se considera que los módulos obtenidos son característicos de la respuesta del pavimento.

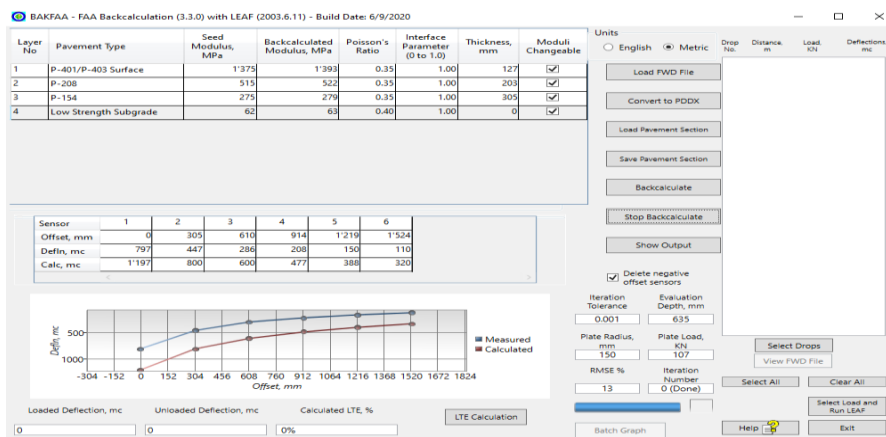


Figura 5 Comparación del cuenco de deflexión medido y teórico.

Fuente: BAKFAA – FAA Backcalculation Versión 3.3.0

2.5 Metodologías Por Cálculo Directo Aplicadas Para La Determinación De Parámetros Estructurales De Pavimentos Flexibles:

2.5.1 AASHTO 1993:

El método simplificado para estimar el módulo resiliente de la subrasante a partir de deflexiones medidas en la superficie de pavimentos por capas fue propuesto por Ullidtz (1977; 1987), y está basado en los siguientes supuestos, para una estructura elástica multicapas:

- Como la distancia desde la carga se incrementa, la compresión de las capas arriba de la subrasante llega a ser menos significativa de ser medida en la superficie del pavimento.
- Como la distancia desde la carga se incrementa, la aproximación de una carga distribuida por un punto de carga mejora.

La primera observación significa que, a una distancia radial suficiente desde la carga aplicada, la deflexión medida en la superficie del pavimento es influenciada mayormente por la deflexión en la parte superior de la subrasante. De esta manera, la deflexión medida depende enteramente de las propiedades elásticas de la subrasante, sin tomar en cuenta el número, espesor y propiedades elásticas de las capas superiores.

La segunda observación es consecuencia de una comparación de deflexiones que resultan de una carga circular distribuida precedida, usando el programa BISAR 3.0 de la Shell, de capas elásticas a varias distancias radiales en la estructura multicapas, a deflexiones predichas a las mismas distancias usando la ecuación de Boussinesq para un sistema de una sola capa.

Con estas observaciones se determinó que el módulo resiliente de la subrasante puede ser obtenido por retrocálculo con las deflexiones medidas en el deflectómetro de impacto, para el sensor ubicado a 180 cm del eje de carga, utilizando la siguiente

expresión:

$$Mrr = \frac{P * (1 - \mu^2)}{\pi * d_r * r} \quad (1)$$

Ecuación 1 Módulo resiliente por retrocálculo de la subrasante.

Donde:

Mrr: Módulo resiliente por retrocálculo de la subrasante (MPa o lb/ in²).

P: Carga aplicada en el impacto (kN o libras).

μ: Relación de Poisson de la subrasante.

d_r: Deflexión registrada a la distancia r medida desde el centro de carga (centímetros o pulgadas). **r:** Distancia entre el eje de carga del sistema y el sensor dado (centímetros o pulgadas).

Asumiendo una relación de Poisson de 0.5, el módulo resiliente por retrocálculo de la subrasante se determina como:

$$Mrr = \frac{0.24 * P}{d_r * r} \quad (2)$$

Ecuación 2 Módulo resiliente por retrocálculo de la subrasante asumiendo una relación de Poisson de 0.5

Para propósitos prácticos, la deflexión usada en estas ecuaciones debería ser la más cercana posible a la del plato de carga. De todas maneras, la distancia debe también ser suficientemente lejana desde el plato de carga para satisfacer las consideraciones asumidas.

El siguiente análisis fue desarrollado para determinar la mínima distancia radial “r” a la cual las deflexiones pueden ser medidas sin introducir un error en el módulo resiliente determinado por retrocálculo.

$$ae = \sqrt{[a^2 + (H_T * \sqrt[3]{\frac{Ep}{Mrr}})^2]} \quad (3)$$

Ecuación 3 Radio del bulbo de tensión en la interface pavimento-subrasante.

Donde:

ae: Radio del bulbo de tensión en la interface pavimento-subrasante (pulgadas).

a: Radio del plato de carga (pulgadas).

H_T: Espesor total del pavimento por encima de la subrasante (pulgadas).

E_p: Módulo efectivo de todas las capas del pavimento por encima de la subrasante (lb/pulg²).

De acuerdo con lo propuesto por AASHTO en la Guía de diseño para estructuras de pavimento (1993), la deflexión empleada para retrocalcular el módulo de la subrasante debe ser medida lo suficientemente lejos, de tal modo que provea un buen estimativo del módulo resiliente de la subrasante, independientemente de los efectos de cualquiera de las capas por encima de esta; pero también debe estar lo suficientemente cerca, de tal modo que no sea muy pequeña e impida una medición precisa. La mínima distancia debe determinarse siguiendo la siguiente relación:

$$r \geq 0.7 * ae \quad (4)$$

Ecuación 4 Distancia mínima del radio.

Modulo efectivo del pavimento:

Está determinado por el valor de la deflexión medida en el centro del plato de carga (d₀) mediante la siguiente ecuación:

$$d_0 = 1.5 * p * a * \left\{ \frac{1}{M_{rr} * \sqrt{1 + \left(\frac{H_T}{a} \sqrt{\frac{Ep}{M_{rr}}} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{H_T}{a} \right)^2}} \right]}{Ep} \right\} \quad (5)$$

Ecuación 5 Deflexión medida en el centro del plato de carga

Determinar el módulo resiliente de diseño con retrocálculo, a partir de ensayos no destructivos, requiere del factor de ajuste C , para hacerlo consistente con el valor que representa la subrasante.

Un valor de 0.33 es recomendado para el factor de ajuste C ; con este, entonces, se ajustan los valores del módulo resiliente obtenidos por retrocálculo a los valores del módulo resiliente real de la subrasante.

$$Mr = C * M_{rr} \quad (6)$$

Ecuación 6 Módulo resiliente de diseño con retrocálculo

Número estructural efectivo del pavimento (SN_{eff}):

$$SN_{eff} = 0.045 * H_T * \sqrt[3]{E_p} \quad (7)$$

Ecuación 7 Número estructural efectivo del pavimento

Donde:

H_T : Espesor del pavimento (in).

E_p : Módulo del pavimento (psi).

2.5.2 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. La figura 5 describe la geometría del modelo de Hogg.

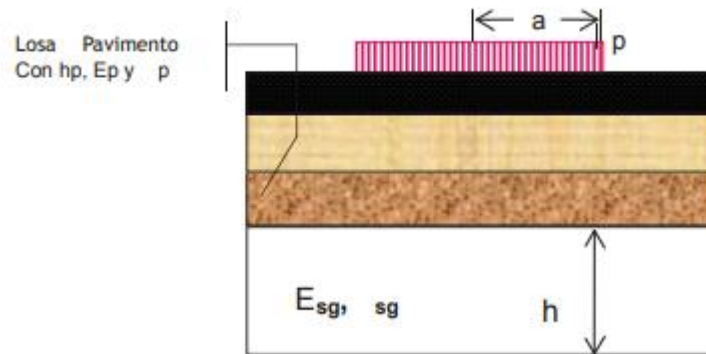


Figura 6 Geometría del modelo de Hogg.

Fuente: (Higuera Sandoval,2008)

2.5.3 Método De LUKANEN:

La evaluación estructural mediante el método de LUKANEN, utiliza las variaciones del modelo de Hogg, para la evaluación del módulo de la subrasante, mediante relaciones obtenidas en investigaciones llevadas a cabo por Minesota Department of Transportation (Mn/DOT; Higuera Sandoval, 2010). El modelo de Hogg está basado en un sistema hipotético de dos capas que consiste en una placa relativamente delgada que se apoya sobre una fundación elástica (del Águila Rodríguez,2007). El modelo define dos parámetros, la distancia donde la deflexión es la mitad de la deflexión central (r_{50}), y la longitud característica (l_0) que es la distancia radial en donde se ubica el punto de inflexión del cuenco de deflexiones. Dichos parámetros se determinan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$r_{50} = r * \frac{A^C - B}{\left[A * \left\{ \frac{D_0}{a_r} - 1 \right\} \right]^C - B} \quad (8)$$

Ecuación 8 Radio donde la deflexión es la mitad de la deflexión central.

$$l_0 = \frac{Y * r_{50} + \sqrt{(Y * r_{50})^2 - 4 * a * X * r_{50}}}{2} \quad (9)$$

Ecuación 9 Longitud característica

Donde:

r₅₀: es la distancia donde la deflexión es la mitad de la deflexión central (cm).

L₀: es la longitud característica (cm).

A, B, C, X, Y: son los coeficientes de correlación.

Para la determinación de M_{rr}, se calcula inicialmente la relación entre la rigidez por carga puntual y la rigidez por carga distribuida sobre la superficie del pavimento.

$$\frac{S_0}{S} = 1 - M * \left(\frac{a}{l_0} - 0.20 \right) \quad (10)$$

Ecuación 10 Relación entre la rigidez por carga puntual y la rigidez por carga distribuida sobre la superficie del pavimento.

Donde:

$\frac{S_0}{S}$: es la relación de rigideces por carga puntual y distribuida;

M: es el coeficiente para relación de rigideces

Según el modelo de LUKANEN, M_{rr} se define con:

$$M_{rr} = \left[\frac{k * l * P}{l_0 * D_0} \right] * \frac{S_0}{S} \quad (11)$$

Ecuación 11 Modulo resiliente de la subrasante según LUKANEN.

Donde:

I: es el factor de influencia.

k: es el coeficiente numérico que depende del coeficiente de Poisson.

Para determinar el número estructural efectivo se utiliza la siguiente ecuación, la cual es función de los parámetros determinados a partir del análisis inverso:

$$S_{Neff} = 0.0182 * l_o * \sqrt[3]{M_{rr}} \quad (12)$$

Ecuación 12 Numero estructural del pavimento según LUKANEN.

Los coeficientes para el método de LUKANEN son descritos en la siguiente tabla.

Tabla 1 Coeficientes para el método LUKANEN.

Profundidad del estrato rígido (ho/lo)=10										
Caso	μ	Dr/Do	A	B	C	X	Y	M	I	k
I	0.5	> 0.7	2.46	0	0.5920	0.183	0.620	0.52	0.1614	1.500
		< 0.7	371.1	2	0.2190	0.183	0.620	0.52	0.1614	1.500
II	0.4	> 0.426	2.629	0	0.5480	0.192	0.602	0.48	0.1684	1.633
		< 0.426	2283.4	3	0.2004	0.192	0.602	0.48	0.1684	1.633

2.5.4 Método De YONAPAVE:

Este método estima el módulo resiliente M_{rr} a partir de los valores de deflexión, basado en la teoría del modelo elástico de Hogg (del Águila Rodríguez, 2007); es decir esta metodología se basa en la interpretación de la forma del cuenco de deflexiones, y toma en cuenta la capacidad portante del pavimento.

Para la determinación del parámetro AREA (área del cuenco de deflexiones en in) se utiliza la siguiente ecuación:

$$AREA = 6 * \left[1 + 2 * \frac{D_{30}}{D_0} + 2 * \frac{D_{60}}{D_0} + \frac{D_{90}}{D_0} \right] \quad (13)$$

Ecuación 13 Área del cuenco de deflexión.

Donde:

D0, D30, D60 y D90 son las deflexiones obtenidas mediante la aplicación del FWD (μm), a distancias de 0, 30, 60 y 90 cm respectivamente medidas respecto al centro del plato de carga.

YONAPAVE (Guzmán Suárez, 2009) expresa la relación entre la longitud característica (l_0) y el área del cuenco de deflexión (AREA) usando la siguiente ecuación:

$$l_0 = A * e^{B*AREA} \quad (14)$$

Ecuación 14 Longitud característica a partir del área del cuenco de deflexiones.

Donde:

A, B: Son coeficientes de ajuste de la curva.

Una vez que el valor de la longitud característica es determinado, se procede a calcular M_{rr} . Este parámetro considera la presión de contacto con la superficie del pavimento, la deflexión que se produce directamente bajo el plato de carga del deflectómetro de impacto y los factores de ajuste m, n de la curva que se encuentran en la Tabla 2.

$$M_{rr} = m * \frac{P}{D_0} * l_0^n \quad (15)$$

Ecuación 15 Modulo resiliente de la subrasante según YONAPAVE.

Según Guzmán Suárez (2009), Hoffman en 1977 introduce una corrección al S_Neff a partir de correlaciones encontradas a través de herramientas computacionales de análisis inverso, como es el caso del programa computacional MODULUS (Liu & Scullion, 2001), con la siguiente ecuación:

$$S_{Neff} = 2 * [0.0182 * l_o * \sqrt[3]{M_{rrr}}] - 0.5 \quad (16)$$

Ecuación 16 Numero estructural del pavimento según YONAPAVE.

Tabla 2 Coeficientes de ajuste método YONAPAVE.

Rango de valores de área (pulgadas)	h/l _o	A	B	m	n
Mayor o igual a 23	5	3.275	0.1039	926.9	-0.8595
Mayor o igual a 21 y menor que 23	10	3.691	0.0948	1152.1	-0.8782
Mayor o igual a 19 y menor que 21	20	2.800	0.1044	1277.6	-0.8867
Menor que 19	40	2.371	0.1096	1344.2	-0.8945

2.5.5 Método Por El Washington State Department of Transportation

(WSDOT):

Módulo de elasticidad de la subrasante:

$$E_{SG} = -346 + 0.00676 * \frac{2 * P}{D_{90} + D_{120}} \quad (17)$$

Ecuación 17 Modulo resiliente de la subrasante según WSDOT.

Módulo de elasticidad de la base granular:

$$\log(E_B) = 0.50634 + 0.03474 * \frac{5.9}{h_{AC}} + 0.92874 * \sqrt{\frac{5.9}{h_B}} - 0.09416 * \sqrt{\frac{h_{AC}}{h_B}} + 0.51386$$

$$* \log(E_{SG}) + 0.25424 * \left(\frac{P * A_1}{D_0^2} \right) \quad (18)$$

Ecuación 18 Módulo de elasticidad de la base granular según WSDOT.

Módulo de elasticidad del pavimento asfáltico:

$$\log(E_{AC}) = -4.13164 + 0.25726 * \frac{5.9}{h_{AC}} + 0.12541 * \sqrt{\frac{5.9}{h_B}} - 0.69727 * \sqrt{\frac{h_{AC}}{h_B}} - 0.096687 * \log(E_{SG}) + 1.88298 * \left(\frac{P * A_1}{D_0^2}\right) \quad (19)$$

Ecuación 19 Módulo de elasticidad del pavimento asfáltico según WSDOT.

Área aproximada bajo el cuenco de deflexión hasta 90 cm del punto de aplicación de la carga:

$$A_1 = 4 * D_0 + 6 * D_{20} + 8 * D_{30} + 12 * D_{60} + 6 * D_{90} \quad (20)$$

Ecuación 20 Área aproximada bajo el cuenco de deflexión hasta 90 cm del punto de aplicación de la carga.

Donde:

E_{SG} : es el módulo de elasticidad del suelo (psi).

P : es la carga aplicada (lb).

D_i : es la deflexión medida a i cm del punto de aplicación de la carga (in).

E_{AC} : es el módulo de elasticidad del pavimento asfáltico (psi).

h_{AC} : es el espesor del pavimento asfáltico (in).

h_B : es el espesor de la base (in).

A_1 : es el área aproximada bajo el cuenco de deflexión, hasta 90 cm del punto de aplicación de la carga.

E_B : es el módulo de elasticidad de la base (psi).

2.5.6 Método de la Federal Highway Administration (FHWA) o Método de

HOGG modificado:

$$E_S = I * \frac{(1 + \mu_0) * (3 - 4 * \mu_0)}{2 * (1 - \mu_0)} * \frac{S_0}{S} * \left(\frac{P}{\Delta_0 * l} \right) \quad (21)$$

Ecuación 21 Modulo resiliente de la subrasante según FHWA.

$$r_{50} = r * \frac{\left(\frac{1}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}}}{\left(\frac{1}{\alpha} * \left(\frac{\Delta_0}{\Delta_r} - 1 \right) \right)^{\frac{1}{\beta}} - B} \quad (22)$$

Ecuación 22 Radio donde la deflexión es la mitad de la deflexión central.

$$\alpha = \begin{cases} 0.3804 & \text{si } \frac{\Delta_r}{\Delta_0} > 0.43 \\ 4.3795 \times 10^{-4} & \text{si } \frac{\Delta_r}{\Delta_0} < 0.43 \end{cases} \quad (23)$$

Ecuación 23 Coeficiente α para la curva de ajuste según FHWA.

$$\beta = \begin{cases} 1.8246 & \text{si } \frac{\Delta_0}{\Delta_r} > 0.43 \\ 4.9903 & \text{si } \frac{\Delta_0}{\Delta_r} < 0.43 \end{cases} \quad (24)$$

Ecuación 24 Coeficiente β para la curva de ajuste según FHWA.

$$B = \begin{cases} 0 & \text{si } \frac{\Delta_0}{\Delta_r} > 0.43 \\ 3 & \text{si } \frac{\Delta_0}{\Delta_r} < 0.43 \end{cases} \quad (25)$$

Ecuación 25 Ecuación 24 Coeficiente B para la curva de ajuste según FHWA.

$$l = \begin{cases} y_0 * \frac{r_{50}}{2} + [(y_0 * r_{50})^2 - 4 * m * a * r_{50}]^{\frac{1}{2}} & \text{si } \frac{a}{l} \geq 0.2 \\ (y_0 - 0.2 * m) * r_{50} & \text{si } \frac{a}{l} < 0.2 \end{cases} \quad (26)$$

Ecuación 26 Largo característico.

$$\frac{S_0}{S} = \begin{cases} 1 - \bar{m} * \left(\frac{a}{l} - 0.2\right) & \text{si } \frac{a}{l} \geq 0.2 \\ 1 & \text{si } \frac{a}{l} < 0.2 \end{cases} \quad (27)$$

Ecuación 27 Relación entre la rigidez por carga puntual y la rigidez por carga distribuida sobre la superficie del pavimento.

$$E_0 = \frac{1.5 * a * \sigma_0}{d_0} \quad (28)$$

Ecuación 28 Modulo compuesto del paquete estructural completo bajo el plato de carga.

$$A_{12} = 2 * \left[2 + 3 * \left(\frac{d_8}{d_0}\right) + \left(\frac{d_{12}}{d_0}\right) \right] \quad (29)$$

Ecuación 29 área bajo los primeros 305 mm del cuenco de deflexión.

$$AF_{AC} = \left(\frac{k_2 - 1}{k_2 - \frac{A_{12}}{k_1}} \right)^{1.35} \quad (30)$$

Ecuación 30 Factor de área.

$$E_{AC} = \frac{E_0 * AF_{AC} * k_3^{\frac{1}{AF_{AC}}}}{k_3^2} \quad (31)$$

Ecuación 31 módulo de elasticidad combinado de las capas del pavimento.

$$k_3 = \frac{h_1}{2 * a} \quad (32)$$

Ecuación 32 Coeficiente formula módulo de elasticidad combinado de las capas del pavimento.

$$E_B = 0.2 * h_2^{0.45} * E_S \quad (33)$$

Ecuación 33 Módulo de elasticidad de la base

Donde:

E_s : Es el módulo de la subrasante (psi).

I : Es el factor de influencia.

μ_0 : Es el coeficiente de Poisson del suelo.

S_0 : Es la rigidez teórica del punto de aplicación de carga.

S: Es la rigidez del pavimento.

P: Es la carga aplicada (lb).

Δ_0 : Es la deflexión bajo el centro del plato de carga (").

l: Es el largo característico.

r_{50} : Es la distancia desde el centro del plato de carga donde $\frac{\Delta_0}{\Delta_r} = 0.5$

r: es la distancia desde el centro del plato de carga (").

α : Es coeficiente de la curva de ajuste.

β : Es coeficiente de la curva de ajuste.

B: Es coeficiente de la curva de ajuste.

Δ_r : Es la deflexión a la distancia r desde el centro del plato de carga (").

y_0 : Es coeficiente del largo característico.

m: es coeficiente del largo característico.

a: Es el radio del plato de carga (").

\bar{m} : Es coeficiente del cociente de la rigidez.

E_0 : Es el modulo compuesto del paquete estructural completo bajo el plato de carga (psi).

σ_0 : Es la presión que produce la carga de impacto bajo el plato de carga (psi).

d_0 : Es la deflexión bajo el plato de carga (").

A_{12} : Es el área bajo los primeros 305 mm (12") del cuenco de deflexión.

d_8 : Es la deflexión medida a 203 mm (8") desde el centro del plato de carga (").

d_{12} : Es la deflexión medida a 305 mm (12") desde el centro del plato de carga (").

AF_{AC} : es el factor de área, es decir, el aumento del área a la potencia de 1,35.

$k_1 = 6,85$ es el área cuando la rigidez de la capa de asfalto es la igual a las capas inferiores.

$k_2 = \frac{12}{6,85} = 1,752$. Es el máximo aumento posible en área.

E_{AC} : Es el módulo de elasticidad combinado de las capas del pavimento asfáltico (psi).

k_3 : Es la razón entre el espesor de la capa de pavimento asfáltico y el diámetro del plato de carga.

h_1 : Es el espesor total de las capas de pavimento asfáltico (”).

E_B : es el módulo de elasticidad de la base (MPa). E_s se ingresa en (MPa).

h_2 : Es el espesor de la capa de base (mm)

Tabla 3 Parámetros método de la Federal Highway Administration (FHWA).

Coefficiente de Poisson del suelo	0,4
Factor de influencia	0,1689
y_0	0,603
m	0,108
\overline{m}	0,208

2.5.1 Método de Rohde:

El investigador Gustav Rhode determina el módulo resiliente de retrocálculo de la subrasante por medio de la siguiente ecuación:

$$M_{rr} = 10^{\frac{\log\left(\frac{D_{180}}{97480}\right)}{-1.055}} \quad (34)$$

Ecuación 34 Módulo resiliente de la subrasante.

Donde:

M_{rr} : Módulo resiliente de la subrasante, en Kg/cm².

D_{180} : Deflexión a 1800 mm del centro de aplicación de la carga, en mm.

Una segunda aproximación para el cálculo del número estructural efectivo es la propuesta por Rohde:

$$SN_{eff} = k_1 * SIP^{k_2} * h_t^{k_3} \quad (35)$$

Ecuación 35 Número estructural efectivo propuesto por Rohde.

h_t : Espesor total del pavimento, en mm.

SIP: Índice estructural de pavimento = $D_0 - D_{1.5*HT}$, en 0.001 mm.

k_1, k_2, k_3 : Coeficientes que dependen del tipo de capa superficial del pavimento.

Tabla 4 Coeficientes de la fórmula de Rohde.

Tipo de superficie	K_1	K_2	K_3
Tratamiento superficial	0.1165	- 0.3248	0.8241
Concreto asfáltico	0.4728	- 0.4810	0.7581

2.5.2 Método de Darter:

Las ecuaciones de Darter son las siguientes:

$$Mrr = 0.0114 * \left[\frac{P}{D_{600}} \right] \quad (36)$$

Ecuación 36 Modulo resiliente de la subrasante con deflexión medida a 600 mm del centro de aplicación de carga.

$$Mrr = 0.007434 * \left[\frac{P}{D_{900}} \right] \quad (37)$$

Ecuación 37 Modulo resiliente de la subrasante con deflexión medida a 900 mm del centro de aplicación de carga.

$$Mrr = 0.00557 * \left[\frac{P}{D_{1200}} \right] \quad (38)$$

Ecuación 38 Modulo resiliente de la subrasante con deflexión medida a 1200 mm del centro de aplicación de carga.

Donde:

Mrr: Modulo resiliente de la subrasante (Kg/cm^2).

P: carga aplicada en libras.

D_{600} : Deflexión a 600 mm del centro de aplicación de la carga (pulgadas)

D_{900} : Deflexión a 900 mm del centro de aplicación de la carga (pulgadas)

D_{1200} : Deflexión a 1200 mm del centro de aplicación de la carga (pulgadas)

2.6 Ensayo De CBR Valor Soporte California (CBR, AASHTO T-193):

En este ensayo, se mide la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón de 3 in². de área en una muestra de suelo de 6 in. (15 cm) de diámetro y 5 in. (12.5 cm) de altura, a una velocidad de 1.27 mm/min (0.5 in/min). La fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración; estas fuerzas medidas, se comparan con las que se necesitan para producir iguales penetraciones en una muestra que sirve de patrón; la definición del CBR es:

$$CBR = \frac{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5 mm en un suelo}}{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5mm en la muestra patrón}} \quad (39)$$

Ecuación 39 Definición CBR

Los métodos de diseño de pavimentos, utilizan como parámetro mecánico para caracterizar la subrasante, el módulo resiliente (M_r). En Colombia, este parámetro se obtiene en laboratorio empleando equipos triaxiales cíclicos sobre suelos inalterados o sobre materiales compactados, siguiendo los lineamientos especificados por el Instituto Nacional de Vías - INVIAS (2007, INV. E-156-07). El módulo resiliente indica que tan rígido es un material bajo carga cíclica del tipo resiliente (con periodo de reposo entre

ciclos de carga) y es un parámetro de gran importancia cuando el diseño de pavimentos se realiza por métodos mecanicistas (Rondón, 2008).

Se han realizado varias ecuaciones que correlacionan el valor del CBR con el módulo resiliente de la subrasante (M_r).

Algunas de ellas se presentan a continuación:

2.6.1 Heukelom & Foster (1960) y Heukelom & Klomp (1962):

$$M_r = 5409 * CBR^{0,711} \text{ o } M_r = 1500 * CBR \text{ (psi), para } CBR < 10\% \quad (40)$$

Ecuación 40 correlación CBR Heukelom & Foster y Heukelom

2.6.2 Green & Hall (1975)

$$M_r = 10 * CBR^{0,73} \text{ (Mpa)} \quad (41)$$

Ecuación 41 Correlación CBR Green & Hall

2.6.3 Uzan et al. (1977):

$$M_r = 14 * CBR \text{ (Mpa) para } CBR < 12\% \quad (42)$$

Ecuación 42 Correlación CBR Uzan et al.

2.6.4 Powell et al. (1984):

$$M_r = 17,6 * CBR^{0,64} \text{ (Mpa), para } CBR < 12\% \quad (43)$$

Ecuación 43 Correlación CBR Powell et al.

2.6.5 Lister & Powell (1987):

Esta ecuación es recomendada por la nueva metodología mecánico-empírica de diseño NCHRP (2004) y por el método de diseño INVIAS (2007)

$$Mr = 2555 * CBR^{0.64} (Mpa), para CBR < 10\% \quad (44)$$

Ecuación 44 Correlación CBR Lister & Powell

2.6.6 Ayres (1997):

$$Mr = 21 * CBR^{0.65} (Mpa) \quad (45)$$

Ecuación 45 Correlación CBR Ayres

2.6.7 Reyes (2003):

ecuación recomendada para utilizar en el Método Racional para Bogotá D.C. del IDU y la Universidad de Los Andes (2002):

$$Mr = 5 * CBR (Mpa) \quad (46)$$

Ecuación 46 Correlación CBR Reyes

2.6.8 El MOP de Chile (2004):

$$Mr = 22.1 * CBR^{0.55} (Mpa), para 12\% < CBR < 80\% \quad (47)$$

Ecuación 47 Correlación CBR El MOP de Chile

Existen diferentes metodologías para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante a partir de los resultados del ensayo CBR las cuales presentan variaciones como se muestra en la figura 6, motivo por el cual se debe tener especial cuidado a la hora elegir la correlación a utilizar para el caso colombiano, donde existe variedad de composición y tipos de suelo.

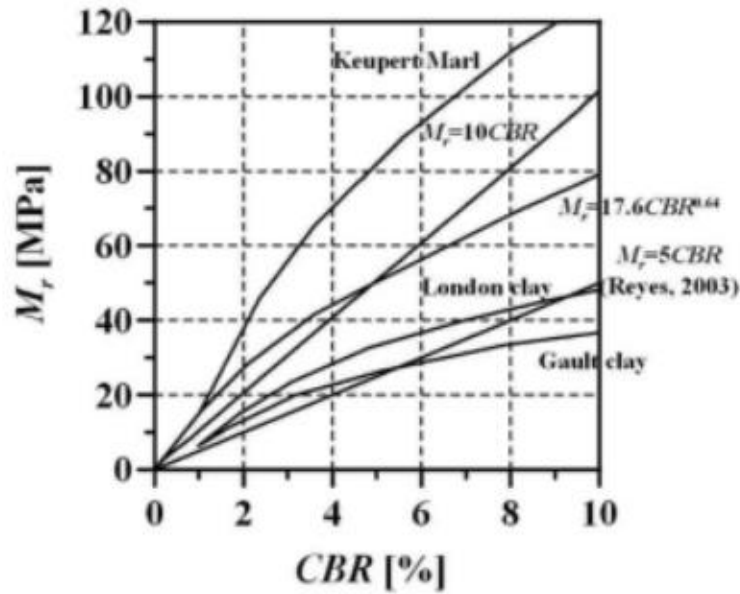


figura 7 Relación entre el CBR y el módulo resiliente (M_r) de la Subrasante

fuelle: (Rondón et al., 2013)

2.7 Ecuación constituyente del módulo resiliente de la sub-rasante.

Los módulos resilientes de un suelo para diferentes estados de esfuerzos se pueden estimar usando el modelo constitutivo universal, (NCHRP 1-28A). Los coeficientes elásticos no lineales y los exponentes del modelo constitutivo se determinan usando

análisis de regresión no lineal para acondicionar el modelo a los resultados del ensayo de laboratorio. El modelo constitutivo generalizado se presenta en la siguiente ecuación, ver (Ecuación 48). (INVIAS, 2017)

$$M_r = K_1 * P_a \left[\frac{\theta}{P_a} \right]^{K_2} * \left[\frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1 \right]^{K_3} \quad (48)$$

Ecuación 48 Modelo constitutivo generalizado

M_r = módulo resiliente, psi

θ = invariante de esfuerzos = $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$

σ_1 = Esfuerzo principal mayor

σ_2 = Esfuerzo principal intermedio = σ_3 para el ensayo del M_r

σ_3 = Esfuerzo principal menor o presión de confinamiento o de cámara

τ_{oct} = Esfuerzo de corte octaédrico

P_a = Esfuerzo normalizado (presión atmosférica)

K_1, K_2, K_3 = Constantes de regresión

Como se puede observar en la anterior ecuación, el módulo resiliente depende del estado de esfuerzos en el que se analizó, por tal razón es necesario conocer una aproximación del estado de esfuerzos a la que está sometida la sub-rasante.

2.7.1 Módulo resiliente en sub-rasante (M_r), curvas de retención de humedad (análisis de succión).

Existe un gran número de ecuaciones de ajuste a las curvas de retención de humedad, algunas son de carácter empírico con datos de laboratorio y otras son ajustes con regresiones. Estos modelos se clasifican en dos grandes grupos: ecuaciones de dos y tres parámetros. Estas ecuaciones usualmente poseen una variable que está relacionado con la entrada de aire al suelo, la segunda está relacionada con la tasa a la cual se satura el suelo, la tercera variable que tienen algunas de las ecuaciones permite tener una forma independiente en el rango de bajas succiones. Usualmente, las ecuaciones que poseen tres parámetros no siempre tienen parámetros que son completamente independientes entre ellos. Estos ajustes se pueden realizar tanto por la rama de humedecimiento como de secado (INVIAS, 2017).

El modelo de Van Genuchten fue uno de los primeros propuestos y de los más usados en este campo. Este ajuste consta de tres parámetros y describe el comportamiento de la curva de retención de humedad en un rango entre la saturación y la succión residual. El ajuste de Van Genuchten es de la siguiente forma:

$$S = \left(\frac{1}{1 + (\alpha + u_w)^n} \right)^m \quad (49)$$

Ecuación 49 Modelo de Van Genuchten

En donde α , m y n son coeficientes del modelo de Van Genuchten.

Existen numerosas investigaciones se han realizado con el ánimo de caracterizar el comportamiento de materiales no ligados usados en pavimentos flexibles. Lekarp realiza un resumen de hallazgos asociados a los efectos de los parámetros de diferentes materiales en la respuesta resiliente de los agregados (Lekarp, 2000).

Se recomienda dedicar atención especial a la humedad a la cual se van a disponer los materiales, de forma que para obtener un mayor módulo resiliente el contenido de humedad al equilibrio se encuentre aproximadamente 2% por debajo del valor óptimo encontrado en el proctor modificado (INVIAS, 2017).

Es importante notar que las muestras con un mayor contenido de humedad presentan un valor de k_1 (tanto modelo $K-\theta$ como universal) menor que las muestras más secas. Es importante anotar que el módulo puede presentar aumentos significativos con variaciones de humedad muy pequeñas. Este comportamiento está asociado con el hecho de que una menor humedad corresponde a una mayor succión y esto se traduce en una resistencia más alta ante carga cíclica axial por parte del suelo.

De esta forma, es posible concluir que el módulo resiliente de estos materiales es directamente proporcional a la succión y más específicamente, la resistencia es mayor en condiciones de humedad por debajo del óptimo. Estos resultados indican que la humedad y la succión son los parámetros que afectan en mayor medida al módulo resiliente (INVIAS, 2017).

2.8 Variable clima en el cálculo del módulo resiliente de diseño.

El clima es una característica propia de la zona de estudio, y como ya se ha venido discutiendo, el contenido de agua tiene influencia directa a la hora de tomar un módulo resiliente de la sub-rasante (M_r), que depende de los factores en los cuales vaya a ser medido. Por tal razón es importante realizar los cálculos correspondientes a dicha influencia que tiene la variable clima respecto al valor del módulo resiliente.

Por tal motivo el manual de diseño de pavimentos – bajos volúmenes, realizado por el INVIAS tiene en cuenta esta variable y nos expresa una metodología la cual es el “método de cálculo de ETP por Thornwaite” la cual tiene como variables de entrada: los datos de laboratorio de la muestra de suelo a analizar, la serie histórica de precipitación, la serie histórica de temperatura. Con estos datos se procede a calcular el factor ambiental, con el cual podemos calcular el módulo resiliente de diseño (M_{RD}), ver (Ecuación 50).

$$M_{RD} = F_{amb} * M_r \quad (50)$$

Ecuación 50 Módulo resiliente de diseño

3. Metodología

La metodología desarrollada en el presente trabajo de investigación se caracteriza fundamentalmente en procesar información proveniente del deflectómetro de impacto como también de los ensayos de CBR para calcular el módulo resiliente de la sub – rasante (Mr) por calculo directo para su posterior análisis y comparación.

De las diferentes metodologías para el cálculo directo del módulo resiliente de la sub – rasante (Mr) con los datos del deflectómetro de impacto (FWD) descritas en el marco teórico, se eligieron las siguientes, ASSHTO 1993, Lukanen, Yonapave, Washington State Department Of Transportation (WSDOT), Federal Highway Administration (FHWA), Rohde y Darter; y con respecto al cálculo del Mr de la sub - rasante con correlaciones a partir del CBR, se eligieron las siguientes, Heukelom & Foster (1960) y Heukelom & Klomp (1962), Green & Hall (1975), Uzan et al. (1977), Powell et al. (1984), Lister & Powell (1987), Ayres (1997), Reyes (2003), El MOP de Chile (2004) , debido a que son los métodos más conocidos y usuales en nuestro medio.

Un resumen de la metodología utilizada en el desarrollo del trabajo de grado es la siguiente:

1. Se revisó el formato en el que el deflectómetro de impacto (FWD) exportaba los datos recolectados en campo, para de esta forma plantear una metodología para darle tratamiento estos datos de tal forma que podamos analizar las deflexiones y procedamos a calcular de manera directa el módulo resiliente (Mr) de la sub – rasante.

2. Seguidamente se utilizó metodología anteriormente mencionada y se utiliza scripts programados en Visual Basic para desarrollar el análisis de los datos provenientes del deflectómetro de impacto, en el tramo Popayán – Tambo (Categorización: Primer orden, Código vía: 2001, Tramo: Conexión Costa Pacífica - Troncal de Occidente, Pr Inicial: 58 + 050 Pr Final: 28 + 000).
3. Posteriormente se analizó la información de laboratorio y se extrajeron los datos de CBR, para continuar con el análisis con el fin de calcular el módulo resiliente (M_r) de la sub – rasante partiendo de los datos de CBR, en el tramo Popayán – Tambo (Categorización: Primer orden, Código vía: 2001, Tramo: Conexión Costa Pacífica - Troncal de Occidente, Pr Inicial: 58 + 050 Pr Final: 28 + 000).
4. Se realiza el análisis estadístico y se determinan tramos homogéneos que permitieran poder sectorizar y enfatizar el posterior análisis de dichos tramos.

3.1 Metodología para la toma de datos en campo con el deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20 y su postproceso para la determinación del módulo resiliente de la subrasante (M_r).

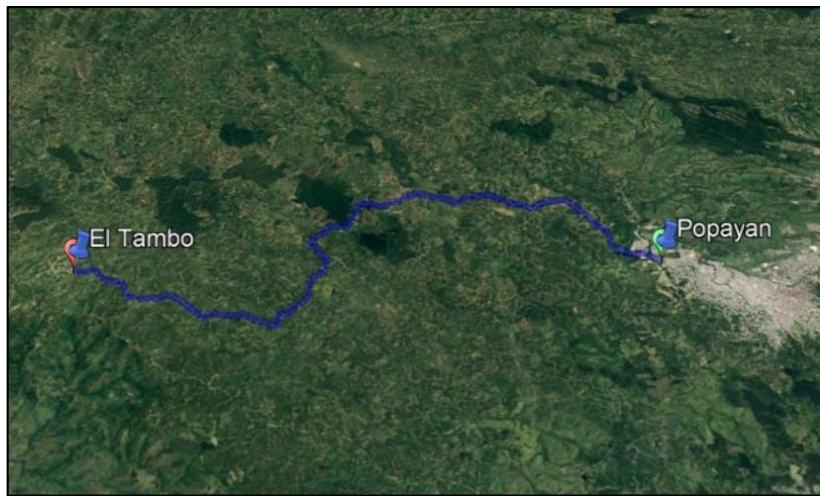


figura 8 Popayán – El Tambo (Pr Inicial: 58 + 050 Pr Final: 28 + 000)

Fuente: Google Earth.

Como primera instancia se procedió a determinar una estimación de la longitud total del tramo de estudio, Popayán – El Tambo. Dicha longitud aproximada se calculó en 27 km. Para tal fin se utilizó el programa Google Earth, ver (figura 8).

Se determinó tomar puntos cada 100 m por carril. Con la aplicación de una Carga Normalizada de 40 kN, a razón de 10 puntos por km aproximadamente, incrementando en zonas donde la actual estructura se encuentra con alto deterioro, con el fin de tener mayor conocimiento sobre el estado de la Sub-rasante. Es importante indicar que el análisis de deflectometría se realizó por carril, sin embargo, el análisis se centra sobre el Carril de mayor deterioro.

Para la toma de datos siempre se realizan en horas de la madrugada o en horas nocturnas ya que para que la toma de cada punto sea válida, la temperatura del pavimento debe ser menor a 35 °C.

Una vez realizada la deflectometría se obtiene el archivo exportando por el hardware del deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20, dichos archivos tienen la extensión “.DAT”, los datos recolectados por el deflectómetro están en un formato separado por filas y columnas, la configuración de las distancias de los geófonos fue la siguiente (0 cm, 20 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 90 cm, 120 cm, 150 cm), también se puede observar en los datos exportados, el nombre del archivo, el número de sensores activos, ubicación del pavimento a evaluar, fecha del ensayo, temperatura del ambiente y nombre del operador, modelo de dichos archivos se describe a continuación, ver (figura 9).

M3														
Date-Time:	4/	ago-21	8:10:26	CH152-01,	CH152-02,	CH152-03,	CH152-04,	CH152-05,	CH152-06,	CH152-07,	CH152-08,	CH152-09		
Sensors:														
Weight/spring:	3													
Location:	cauca													
Temp:	54.36													
Operator:	robinson													
Comments:	TESTING													
1	1	0	1	8.86	8.3	6.85	4.79	3.48	2.66	2.16	1.8	1.59	6.32	65.6
1	1	0	1	8.77	8.15	6.79	4.77	3.49	2.67	2.17	1.82	1.62	6.26	65.6
1	1	0	1	9.03	8.3	6.93	4.9	3.58	2.74	2.22	1.87	1.65	6.4	65.6
Drop Sequence	Completed		Time:	8:10	Air	Temp	(F):	54						
GPS: Quality :	GPS	Fi	Latitude	=	2	N	Longitude	=	76	W	PDOP	=	0	
Note:	TEM	PV	23	AIR	18									
2	1	0.2	1	8.42	31.82	26.41	16.58	10.13	6.03	3.89	2.82	2.45	26.14	63.8
2	1	0.2	1	8.58	31.93	26.73	16.97	10.45	6.28	4.1	2.99	2.6	26.37	63.8
2	1	0.2	1	8.69	32.29	27.18	17.37	10.73	6.48	4.25	3.12	2.72	26.76	63.8
Drop Sequence	Completed		Time:	8:13	Air	Temp	(F):	55.1						
GPS: Quality :	GPS	Fi	Latitude	=	2	N	Longitude	=	76	W	PDOP	=	0	
Note:	TEM	PV	23	AIR	18									
3	1	0.401	1	9.17	15.61	12.08	7.13	4.62	3.41	2.7	2.22	1.91	10.64	64.7
3	1	0.401	1	9.31	15.31	11.97	7.15	4.65	3.45	2.72	2.22	1.91	10.51	64.7
3	1	0.401	1	9.11	14.87	11.7	7.02	4.57	3.38	2.67	2.2	1.9	10.26	64.7
Drop Sequence	Completed		Time:	8:14	Air	Temp	(F):	55.8						
GPS: Quality :	GPS	Fi	Latitude	=	2	N	Longitude	=	76	W	PDOP	=	0	
Note:	TEM	PV	23	AIR	18									
4	1	0.6	1	8.56	28.06	21.78	13.4	8.12	5.43	4.48	2.81	3.2	20.95	65.6
4	1	0.6	1	8.65	27.74	21.77	13.48	8.15	5.45	4.51	2.93	3.29	20.99	65.6
4	1	0.6	1	8.65	27.59	21.87	13.62	8.3	5.71	4.6	3.04	3	21.03	65.6
Drop Sequence	Completed		Time:	8:16	Air	Temp	(F):	55.9						
GPS: Quality :	GPS	Fi	Latitude	=	2	N	Longitude	=	76	W	PDOP	=	0	
Note:	TEM	PV	23	AIR	18									
5	1	0.801	1	9.59	19.77	17.37	12.22	8.47	5.86	4.35	3.41	3.08	15.91	65.5
5	1	0.801	1	9.11	19.46	17.12	12.07	8.37	5.82	4.3	3.37	3.04	15.72	65.5
5	1	0.801	1	9.31	19.32	17	12	8.33	5.8	4.29	3.37	3.04	15.62	65.5

figura 9. Formato de datos crudos exportados del deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20

Fuente: Elaboración propia

Para el tratamiento de los datos exportados del deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20 se optó por utilizar una hoja electrónica para facilitar los cálculos, para el caso de esta investigación se utilizó “Excel” del paquete Office desarrollada por Microsoft. En donde se tiene la facilidad de poder programar scripts en el lenguaje de programación Visual Basic que ayudan a automatizar tareas.

Para el cálculo del módulo resiliente (M_r) de la sub - rasante se planteó la siguiente metodología plasmada en un libro electrónico que se describe a continuación:

3.1.1 Datos de Campo

En esta hoja, se importan de manera manual los datos del archivo .DAT exportado del hardware del deflectómetro (FWD) JILS 20. Como los datos vienen separados por espacios se hace uso de la herramienta “texto a columnas” para poder organizar por celdas en filas y columnas la información. Cabe destacar que la configuración para las lecturas son 3 golpes por punto, dos de los primeros para la estabilización de dicha lectura y la tercera es la que se toma para los cálculos posteriores. Dicha hoja de cálculo se describe a continuación, ver (figura 10).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	M3																		
2	Date-Time	2/25/2021	18:49:11																
3	Sensors:	"CH152-01,"	"CH152-02,"	"CH152-03,"	"CH152-04,"	"CH152-05,"	"CH152-06,"	"CH152-07,"	"CH152-08,"	CH152-09									
4	Weight#spri	3																	
5	Location:	RISARALDA																	
6	Temp:	70.18																	
7	Operator:	ROBINSON																	
8	Comments:	TESTING																	
9		1	10.504	1	8.89	5.81	5.25	4.33	3.5	8	2.15	2.3	129	4.95	73.6				
10		1	10.504	1	8.8	5.7	5.15	4.25	3.44	2.71	2.11	159	127	4.86	73.6				
11		1	10.504	1	8.83	5.68	5.11	4.23	3.42	2.7	2.1	158	127	4.83	73.6				
12	Drop	Sequence	Completed	Time:	3:41	Air	Temp	(F):	70										
13	GPS:	Quality	:	GPS	Fi	Latitude	=	4 deg52.9645'N	Longitude	=	75 deg52.2028' W	PDOP	=	0					
14	Note:	TEM	air	20pv	27	antes	puente												
15		2	10.524	1	8.72	6.38	6.19	5.06	4.01	3.09	2.36	1.77	144	5.84	73.9				
16		2	10.524	1	8.84	6.39	6.19	5.07	4.03	3.11	2.38	1.79	145	5.85	73.9				
17		2	10.524	1	8.88	6.34	6.15	5.05	4.01	3.1	2.38	1.79	145	5.81	73.9				
18	Drop	Sequence	Completed	Time:	3:40	Air	Temp	(F):	71.5										
19	GPS:	Quality	:	GPS	Fi	Latitude	=	4 deg52.9670'N	Longitude	=	75 deg52.2024' W	PDOP	=	0					
20	Note:	TEM	air	20pv	27	antes	puente												
21		3	10.542	1	9.1	2.75	2.17	1.67	1.32	1.05	0.84	0.68	0.59	1.97	74.1				
22		3	10.542	1	9.09	2.71	2.15	1.66	1.32	1.04	0.84	0.68	0.59	1.95	74.1				
23		3	10.542	1	9.14	2.71	2.15	1.66	1.32	1.05	0.85	0.68	0.59	1.95	74.1				
24	Drop	Sequence	Completed	Time:	3:40	Air	Temp	(F):	71.2										
25	GPS:	Quality	:	GPS	Fi	Latitude	=	4 deg52.9766' N	Longitude	=	75 deg52.2013' W	PDOP	=	0					
26	Note:	TEM	air	20pv	27	antes	puente												
27		4	10.551	1	9.11	2.47	1.51	1.14	0.95	0.81	0.68	0.57	0.51	1.41	72.2				
28		4	10.551	1	8.94	2.4	1.48	1.12	0.93	0.8	0.67	0.56	0.5	1.38	72.2				
29		4	10.551	1	9.13	2.44	1.51	1.14	0.95	0.81	0.68	0.58	0.51	1.41	72.2				
30	Drop	Sequence	Completed	Time:	3:39	Air	Temp	(F):	70.6										
31	GPS:	Quality	:	GPS	Fi	Latitude	=	4 deg52.9826' N	Longitude	=	75 deg52.2006' W	PDOP	=	0					
32	Note:	TEM	air	20pv	27														
33		5	10.76	1	8.97	2.38	1.9	1.71	1.55	1.4	1.26	1.13	1.08	1.86	72.9				
34		5	10.76	1	8.97	2.38	1.88	1.69	1.54	1.39	1.26	1.12	1.08	1.84	72.9				
35		5	10.76	1	8.88	2.37	1.86	1.68	1.53	1.36	1.25	1.11	1.08	1.83	72.9				
36	Drop	Sequence	Completed	Time:	3:37	Air	Temp	(F):	70.7										
37	GPS:	Quality	:	GPS	Fi	Latitude	=	4 deg53.10091' N	Longitude	=	75 deg52.18596' W	PDOP	=	0					
38	Note:	TEM	air	20pv	27														

figura 10. Hoja: Datos de Campo

Fuente: REPASOFT V 3.0

3.1.2 Chequeo temperatura de ensayo:

Aquí procedemos a analizar un parámetro importante para la validez del ensayo por cada punto con el parámetro temperatura aplicando las siguientes condiciones:

- Temperatura del pavimento \geq Temperatura del aire
- Temperatura del pavimento ≤ 35 °C

También se analiza que la deflexión a distancia 0 es la deflexión mayor, y a medida que la distancia del sensor sea mayor la medida de la deflexión debe ser menor a la del sensor anterior.

Para realizar dicha comprobación con las condiciones anteriormente descritas se programó un script que se ejecuta presionando el botón “CARGAR DATOS DE CAMPO, CHEQUEO T° ENSAYO Y CHEQUEO DEFLEXIONES”

PUNTO	ABSCISA	T°C PAV	T°C AIRE	CHEQUEO T°C PAV >= T°C AIRE	CHEQUEO T°C PAV <= 35 °c	CHEQUEO DEFLEXIONES
1	K0+000	19	12	OK	OK	OK
2	K0+200	18	13	OK	OK	OK
3	K0+401	18	13	OK	OK	OK
4	K0+600	19	13	OK	OK	OK
5	K0+801	19	14	OK	OK	OK
6	K1+001	19	14	OK	OK	OK
7	K1+201	19	15	OK	OK	OK
8	K1+400	19	14	OK	OK	OK
9	K1+605	19	14	OK	OK	OK
10	K1+800	19	15	OK	OK	OK
11	K2+000	18	15	OK	OK	OK
12	K2+202	18	15	OK	OK	OK
13	K2+398	20	15	OK	OK	OK
14	K2+600	18	15	OK	OK	OK
15	K2+802	19	15	OK	OK	OK
16	K3+004	19	15	OK	OK	OK
17	K3+200	20	16	OK	OK	OK
18	K3+400	20	16	OK	OK	OK
19	K3+601	21	16	OK	OK	OK
20	K3+805	20	16	OK	OK	OK
21	K4+020	21	16	OK	OK	OK
22	K4+200	21	16	OK	OK	OK
23	K4+401	21	16	OK	OK	OK
24	K4+602	22	16	OK	OK	OK
25	K4+801	21	16	OK	OK	OK
26	K5+004	22	17	OK	OK	OK
27	K5+050	27	25	OK	OK	OK
28	K5+103	25	25	OK	OK	OK
29	K5+200	26	26	OK	OK	OK
30	K5+401	26	25	OK	OK	OK
31	K5+606	24	24	OK	OK	OK
32	K5+802	24	24	OK	OK	OK
33	K6+002	26	24	OK	OK	OK
34	K6+200	24	24	OK	OK	OK

figura 11. Hoja: Chequeo temperatura de ensayo.

Fuente: REPASOFT V 3.0

Adicionalmente a esta hoja se agregó un script con el cual se puede revisar la información por cada punto y en caso de no ser válido, eliminarlo. También nos ayuda a ordenar los datos en sentido ascendente de la abscisa; este script que se ejecuta presionando el botón “CARGAR VISTA PREVIA”

U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO
Importar Datos De Campo		Ordenar Datos Crudos		Limpiar Datos Crudos		D20--D45														
Punto :	1	INFORMACION DEL PUNTO																		
Cargar Información	1	1	10.504	1	8.89	5.81	5.25	4.33	3.5	2.76	2.15	1.61	1.29	4.95	73.6					
	1	1	10.504	1	8.8	5.7	5.15	4.25	3.44	2.71	2.11	1.59	1.27	4.86	73.6					
	1	1	10.504	1	8.83	5.68	5.11	4.23	3.42	2.7	2.1	1.58	1.27	4.83	73.6					
Modificar	Drop	Sequence	Completed	Time:	0.1534722	Air	Temp	(F):	70											
	GPS:	Quality		GPS	FI	Latitude	=		4 deg 52.96452 N	Longitude	=		75 deg 52.20283 W	PDOP	=					0
	Note:	TEM	air	20pv		27	antes	puente												
Eliminar																				
Limpiar																				
Exportar Datos de Campo																				
Salir Vista Previa																				

figura 12. Hoja: Vista previa.

Fuente: REPASOFT V 3.0

3.1.3 Datos del proyecto:

En esta sección podemos introducir datos del proyecto a analizar como lo son:

- Nombre del proyecto.
- Abscisa inicial y final (Generadas automáticamente mediante un script)
- Temperatura estándar.
- Carga estándar.
- Coeficiente C para el Mr de diseño.
- Radio del plato de carga.
- Factor de ajuste por temperatura de la deflexión en el centro del plato de carga.
- Tipo de superficie.
- Nivel de confiabilidad.

Proyecto:		POPAYAN TAMBO CD	
Abscisa Inicial:	K00+000	Abscisa Final:	K27+405
Temperatura estándar:		20°C	
Carga estándar		40 KN	
Coeficiente C para Mr		0.33	Pavimento con base granular o tratada con asfalto
Radio de plato de carga		5.90	Pulg.
Ajuste para d_0 por temperatura para:		Pavimento con base granular o tratada con asfalto	
Tipo de Superficie:		Concreto Asfáltico	
Nivel de Confiabilidad:			

figura 13. Hoja: Datos del proyecto.

Fuente: REPASOFT V 3.0

3.1.4 Estructura del pavimento:

Aquí podemos introducir las dimensiones de la estructura de pavimento flexible a analizar, podemos definir dichas estructuras por tramos acotados por su abscisa.

NOTA: INGRESE LAS SECCIONES A EVALUAR							
ABSCISA		LOSA DE CONCRETO O SIMILAR BAJO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO (m)	ESPEORES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				
DE	HASTA		MCD2 (m)	CARPETA EXISTENTE MEJORADA (m)	GRANULARES	BEC (m)	
K00+000	K0+145		0.10		0.55	0.00	
K00+145	K0+570		0.10		0.40		
K00+570	K0+730		0.10		0.45		
K00+730	K1+100		0.08		0.22		
K01+100	K1+440		0.06		0.34		
K01+440	K1+740		0.06		0.34		
K01+740	K2+000		0.05		0.25		
K02+000	K2+550		0.08		0.52		
K02+550	K2+850		0.04		0.36		
K02+850	K3+100		0.07		0.53		

figura 14. Hoja: Estructura de pavimento.

Fuente: REPASOFT V 3.0

3.1.5 Sectorización deflectometría:

Para la identificación de tramos homogéneos con el fin de obtener de manera objetiva los tramos de análisis correctas estadísticamente. Este proceso, se llevó a cabo a través del método de las diferencias acumuladas para la obtención de unidades homogéneas puntualizado por el Instituto Nacional de Vías el cual incluye una variable Z_x como medida estadística y el cual se puede evidenciar en el ítem 5.2.1 del marco conceptual. (INV E – 821, 2013).

NOTA: BORRAR GRAFICOS PREEXISTENTES ANTES DE EVALUACIÓN											
SECTORIZACIÓN DE LA VÍA POR EL METODO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS									RADIO DE CURVATURA		
ABSCISA (Km)	DEFLEXIÓN, D0 (µm)	NUMERO DE INTERVALO	DISTANCIA DE INTERVALO (Km)	DISTANCIA ACUMULADA	DEFLEXION PROMEDIO	AREA DEL INTERVALO REAL	AREA ACUMULADA	Zx	DEFLEXION, D0cT (1000 mm)	DEFLEXION, D30c (1000 mm)	RADIO DE CURVATURA
				A		REAL	A		(1000 mm)	Rc=(30*2) / (2510-42mm)	A
K0+000	210.8	1	0.200	0.20	210.82	42.16	42.16	-69.46	22.4	13.2	491
K0+200	820.2	2	0.201	0.40	515.49	103.61	145.78	-78.02	91.6	49.3	106
K0+401	377.7	3	0.199	0.60	598.93	119.19	264.97	-69.89	40.0	18.9	213
K0+600	700.8	4	0.201	0.80	539.24	108.39	373.35	-73.68	77.7	38.3	114
K0+801	490.7	5	0.200	1.00	595.76	119.15	492.50	-66.15	56.1	34.8	212
K1+001	1040.4	6	0.200	1.20	765.56	153.11	645.62	-24.66	130.6	60.1	64
K1+201	395.7	7	0.199	1.40	718.06	142.89	788.51	7.17	46.6	27.1	230
K1+400	443.7	8	0.205	1.61	419.74	86.05	874.56	-21.19	53.4	26.6	168
K1+605	702.3	9	0.195	1.80	573.02	111.74	986.29	-18.28	85.0	51.7	135
K1+800	381.8	10	0.200	2.00	542.04	108.41	1094.70	-21.50	46.9	30.0	267
K2+000	284.5	11	0.202	2.20	333.12	67.29	1161.99	-66.94	34.6	14.4	222
K2+202	538.2	12	0.196	2.40	411.35	80.63	1242.62	-95.70	65.3	35.2	149
K2+398	510.3	13	0.202	2.60	524.26	105.90	1348.52	-102.54	52.5	28.2	185
K2+600	515.6	14	0.202	2.80	512.95	103.62	1452.13	-111.66	64.9	28.6	124
K2+802	668.3	15	0.202	3.00	591.95	119.57	1571.71	-104.82	83.5	26.9	80
K3+004	529.6	16	0.196	3.20	598.93	117.39	1689.10	-96.82	64.1	32.6	143
K3+200	531.9	17	0.200	3.40	530.73	106.15	1795.24	-102.29	54.5	26.3	159
K3+400	514.1	18	0.201	3.60	522.99	105.12	1900.36	-109.35	61.4	38.6	197
K3+601	535.4	19	0.204	3.81	524.76	107.05	2007.42	-116.15	53.4	19.1	131
K3+805	646.4	20	0.215	4.02	590.93	127.05	2134.47	-109.09	67.4	24.9	106
K4+020	587.5	21	0.180	4.20	616.97	111.05	2245.52	-98.50	60.6	30.0	147
K4+200	557.0	22	0.201	4.40	572.26	115.02	2360.55	-95.65	56.4	16.3	112
K4+401	540.8	23	0.201	4.60	548.89	110.33	2470.87	-97.50	56.6	26.5	150
K4+602	826.5	24	0.199	4.80	683.64	136.04	2606.92	-72.52	87.2	39.6	94
K4+801	486.7	25	0.203	5.00	656.59	133.29	2740.21	-52.52	49.2	16.8	139
K5+004	698.5	26	0.046	5.05	592.58	27.26	2767.46	-50.94	71.7	25.6	98
K5+050	746.8	27	0.053	5.10	722.63	38.30	2805.76	-42.22	68.8	33.9	129
K5+103	580.1	28	0.097	5.20	663.45	64.35	2870.12	-32.00	54.0	20.5	135
K5+200	508.8	29	0.201	5.40	544.45	109.43	2979.55	-34.74	46.3	16.4	150
K5+401	570.0	30	0.205	5.61	539.37	110.57	3090.12	-38.58	52.1	22.9	154
K5+606	850.9	31	0.196	5.80	710.44	139.25	3229.37	-8.72	80.6	42.0	117
K5+802	860.3	32	0.200	6.00	855.60	171.12	3400.49	50.78	82.9	43.9	115
K6+002	569.7	33	0.198	6.20	715.01	141.57	3542.06	81.85	52.3	18.8	134
K6+200	384.6	34	0.200	6.40	477.14	95.43	3637.49	65.65	34.7	20.1	308

figura 15. Hoja: Deflectometría.

Fuente: REPASOFT V 3.0

$$Z_x = \sum a_i - F * \sum \Delta x_i \quad (51)$$

Ecuación 51 Zx : Medida estadística.

Donde:

n = Número de intervalos.

Δx_i = Distancia del intervalo.

$\sum \Delta x_i$ = Distancia acumulada por intervalo.

a_i = Área del intervalo.

$\sum a_i$ = Área de intervalo acumulada.

$$F = \sum \Delta x_i / \sum a_i$$

También se calculó el radio de curvatura y se gráfica los datos resultantes para la determinación grafica de los tramos homogéneos. Como se muestra a continuación, ver (figura 16).

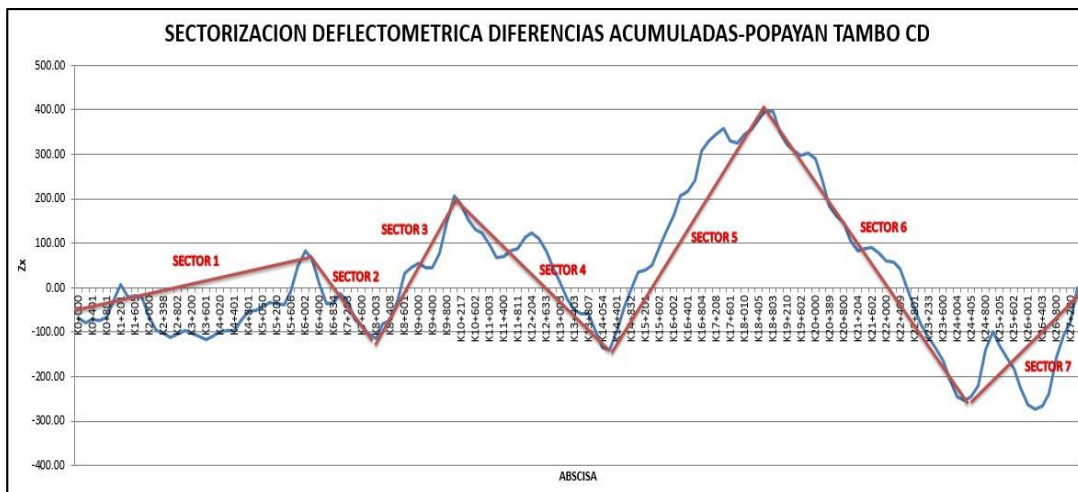


figura 16. Gráfica sectorización deflectometría.

Fuente: REPASOFT V 3.0

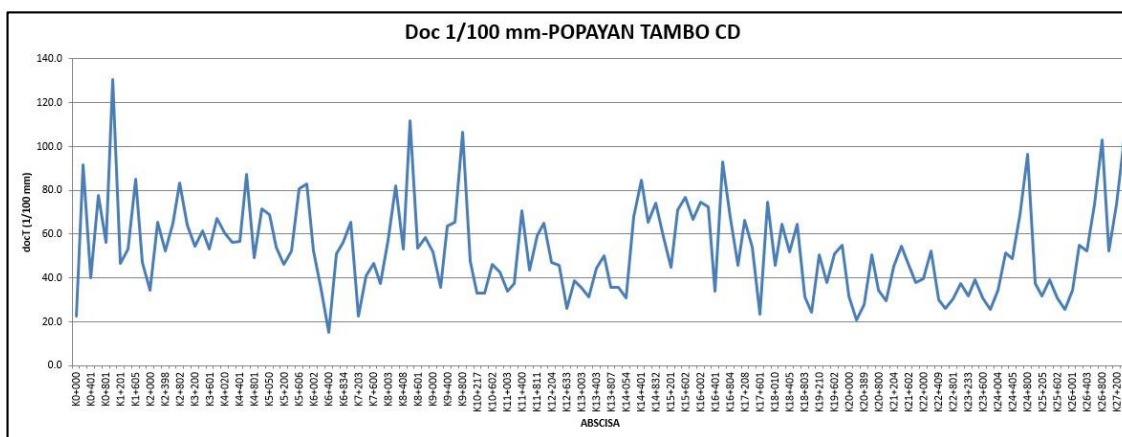


figura 17. Gráfica D0c 1/100 mm vs Abscisa.

Fuente: REPASOFT V 3.0

3.1.6 Deflexión bajo el plato de carga y radio de curvatura del tramo total:

En esta sección se procede a realizar cálculos estadísticos del tramo total para obtener los valores de radio de curvatura y deflexión bajo el plato de carga según el nivel de confianza establecido anteriormente en la sección de “Datos del proyecto”.

POPAYAN TAMBO CD			
TRAMO TOTAL			
TRAMO TOTAL	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	
1	K00+000	K27+405	
RESULTADOS ESTADÍSTICOS			
TRAMO TOTAL			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
Rc	174	87	164
DoC	53	21	56

figura 18 Hoja: D0c-Rc tramo total.

Fuente: REPASOFT V 3.0

En esta sección también se realizan dos gráficas, la primera relaciona el radio de curvatura vs abscisa, ver (figura 19). La segunda relaciona deflexión bajo el plato de carga vs abscisa, ver (figura 20).

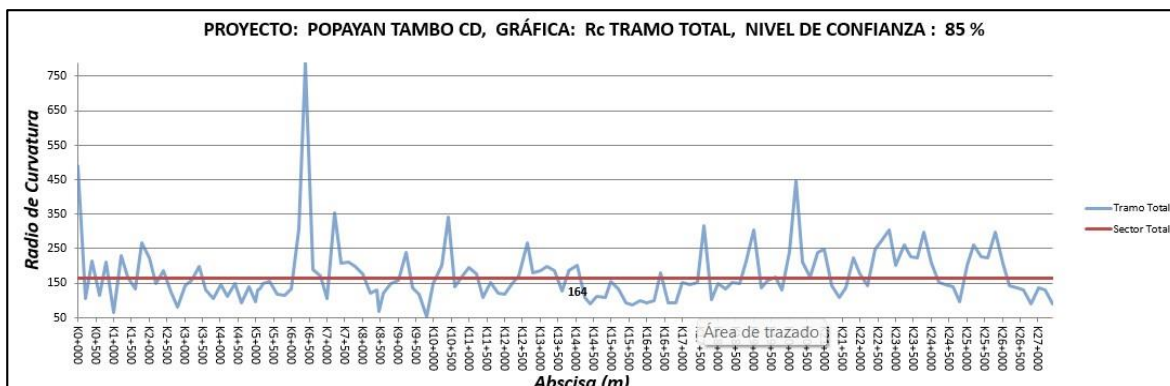


figura 19 Radio de curvatura vs abscisa

Fuente: REPASOFT V 3.0

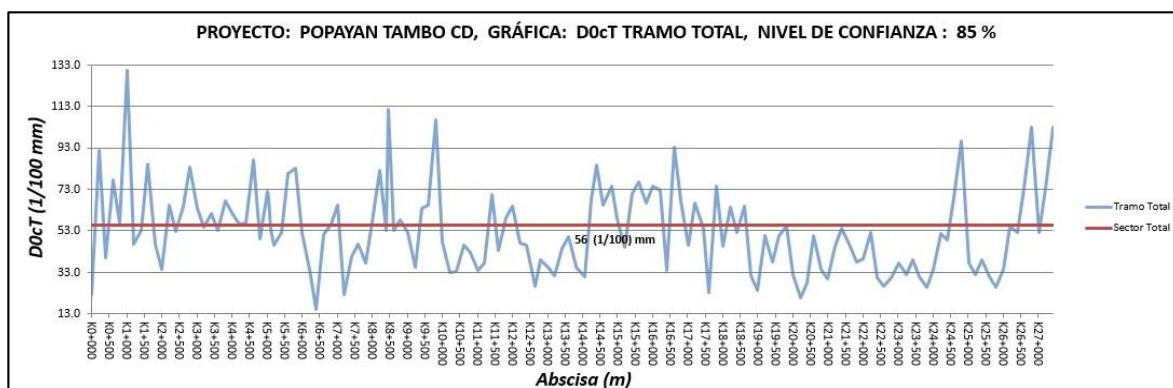


figura 20 Deflexión bajo el plato de carga vs abscisa

Fuente: REPASOFT V 3.0

3.1.7 Deflexión bajo el plato de carga y radio de curvatura de los sectores homogéneos.

Posteriormente a analizar dos datos en un tramo total, procedemos a analizar los datos para los sectores homogéneos resultantes de la sectorización.

Inicialmente se deben introducir manualmente los datos de las abscisas para los tramos que se van a analizar, ver (figura 21).

POPAYAN TAMBO CD		
SECTORIZACIÓN DE LA VÍA		
SECCIONES	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL
1	K00+000	K6+000
2	K06+000	K8+000
3	K08+000	K10+217
4	K10+217	K14+054
5	K14+054	K18+803
6	K18+803	K24+004
7	K24+004	K27+405

figura 21 Sectorización de la vía.

Fuente: REPASOFT V 3.0

Posteriormente a introducir las secciones se procede a ejecutar un script en esta hoja para realizar los cálculos estadísticos correspondientes a cada sector homogéneo, las variables que se analizan también corresponden a radio de curvatura y deflexión bajo el centro del plato de carga. Los Datos se muestran en una tabla resumen, ver (figura 22).

RESULTADOS ESTADÍSTICOS			
TRAMO 1			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
Rc	157	76	138
DoC	63	20	68
TRAMO 2			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
Rc	267	197	169
DoC	42	15	49
TRAMO 3			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
Rc	140	50	119
DoC	63	23	73
TRAMO 4			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
Rc	178	53	160
DoC	43	11	46
TRAMO 5			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
Rc	134	51	119
DoC	61	17	67
TRAMO 6			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
Rc	216	74	195
DoC	38	10	40
TRAMO 7			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
Rc	165	61	143
DoC	58	24	66

figura 22 Resultados estadísticos sectores homogéneos.

Fuente: REPASOFT V 3.0

El script ejecutado en esta hoja también nos genera dos gráficas, una de ellas relaciona radio de curvatura vs abscisa y muestra el valor del intervalo de confianza para cada sector homogéneo, ver (figura 23). La segunda grafica relaciona la deflexión bajo el centro del plato de carga vs abscisa y muestra el valor del intervalo de confianza para cada sector homogéneo, ver (figura 24).

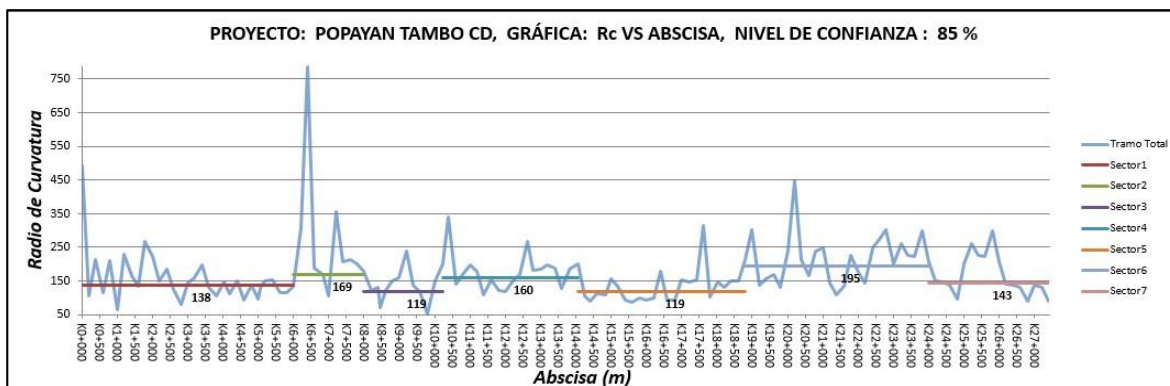


figura 23 Radio de curvatura vs abscisa sectores homogéneos.

Fuente: REPASOFT V 3.0

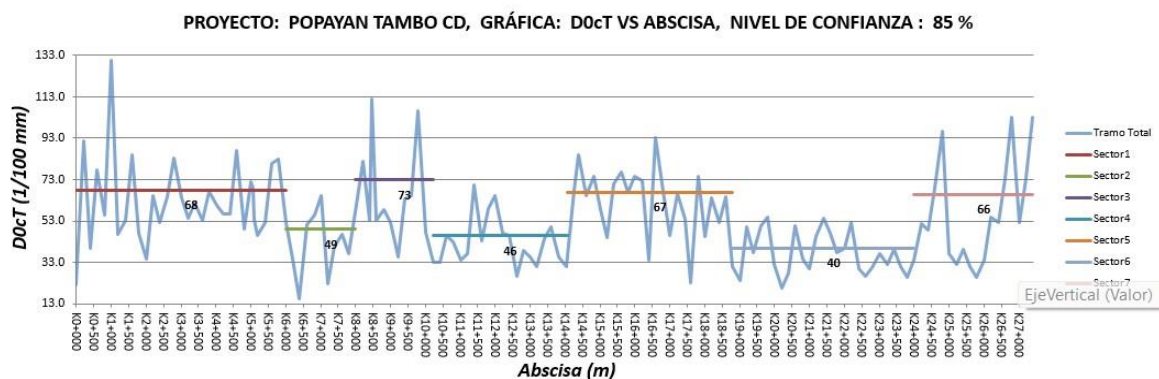


figura 24 Deflexión bajo el plato de carga vs abscisa sectores homogéneos.

Fuente: REPASOFT V 3.0

3.1.8 Corrección deflexiones por carga, temperatura y cálculo del módulo resiliente de la sub-rasante.

3.1.8.1 Corrección deflexiones por carga:

La corrección por carga se hace en consecuencia a la diferencia de la carga aplicada con la carga estándar. Esta corrección se hace mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Corrección por carga} = \frac{\text{Carga Aplicada}}{\text{Carga Estandar}} * \text{Deflexión medida} \quad (52)$$

Ecuación 52 Corrección deflexión por carga.

3.1.8.2 Corrección deflexiones por temperatura:

La “Guide for design of pavement structures” (1993) de la AASHTO, describe el método de corrección por temperatura de deflexiones medidas con FWD, determinando el factor de corrección que debe ser aplicado a la deflexión medida en campo, a un entorno de temperaturas entre 30 °F y 120 °F (0 °C y 50 °C), basándose en los siguientes parámetros:

- La temperatura de referencia se establece en 68 °F (20 °C).
- La medición de la temperatura se puede hacer midiendo directamente la temperatura interna del pavimento, o estimándola a partir de la temperatura superficial del mismo y de la temperatura ambiente.
- Los factores de ajuste de las deflexiones están en función de la temperatura, la composición del firme y el espesor total de las capas asfálticas. Se elaboraron dos gráficas, uno para pavimentos flexibles con base granular y otro para pavimentos semirrígidos con base tratada con cemento, ver (figura 25 y figura 26).
- En el documento SHRP-P-654 (1993), se indica el procedimiento para corregir la deflexión máxima por temperatura en mediciones con FWD. La temperatura adoptada para la corrección es la tomada como promedio en el medio espesor de la capa asfáltica.

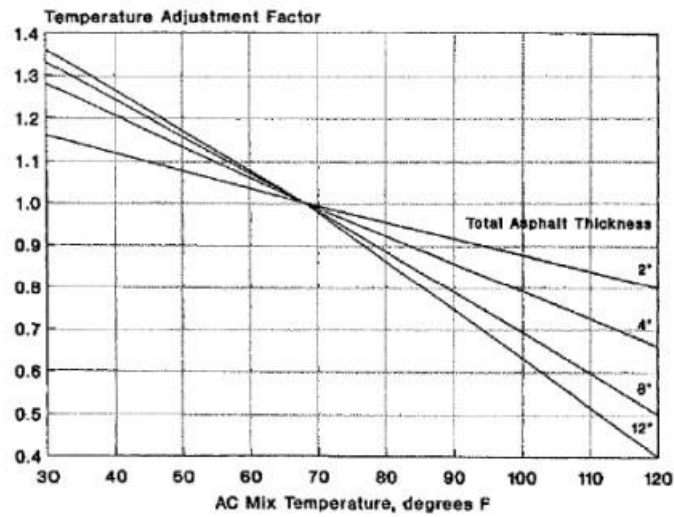


figura 25 Coeficiente de ajuste por temperatura. Pavimentos flexibles con base granular.

Fuente: Guide for desing of pavement structures AASHTO, 1993

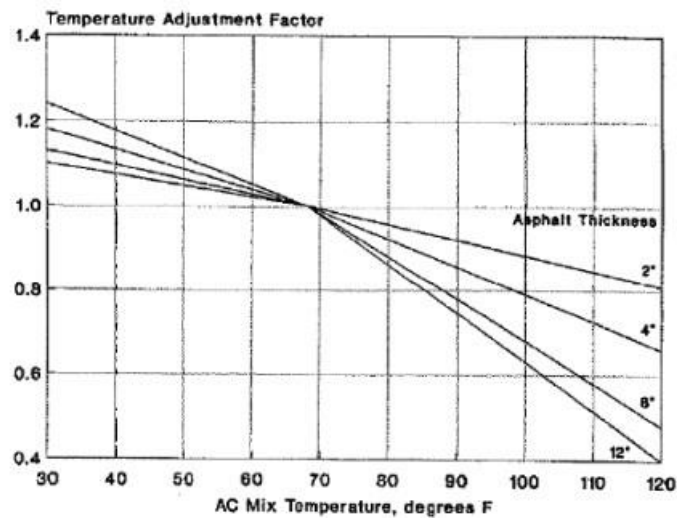


figura 26 : Coeficiente de ajuste por temperatura. Pavimentos semirrígidos con base tratada.

Fuente: Guide for desing of pavement structures AASHTO, 1993

Dentro de esta hoja el programa genera una tabla resumen, con los siguientes datos por cada punto tomado en campo por el deflectómetro de impacto (FWD) JILS 20:

- Punto.
- Abscisa (m).
- Carga (kN).
- Temperatura: pavimento y aire (°C).
- Deflexiones medidas (µm).
- Deflexiones corregidas por carga (µm).
- Deflexiones corregidas por temperatura (µm).
- Espesores de la estructura: granulares y capa asfáltica (cm).
- Parámetros estructurales: Mr diseño, Ep diseño (kg/cm²) y S_{neff}.

El resumen de estos datos se puede observar en las siguientes figuras, ver (figura 27 y figura 28).

Punto	ABSCISA	Datos Obtenidos en Campo														Corrección por Carga								Corrección por Carga y Temperatura Gráfico AASHTO
		Carga	Temperatura		Deflexiones Medidas (µm)							Deflexiones Corregidas (µm)								Deflexiones Corregidas (µm)				
			Pav.	Aire	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d _{0c}	d _{1c}	d _{2c}	d _{3c}	d _{4c}	d _{5c}	d _{6c}		d _{7c}	d _{0ct}		
No.	(m)	kN	°C	°C	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm	-20 cm	20 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm	-20 cm	20 cm	0 cm			
1	K0+000	40.2	18.7	12.2	211	124	70	56	47	42	163	176	210	124	69	56	47	42	162	175	223.8			
2	K0+200	38.7	17.7	12.8	820	441	165	108	79	69	680	690	849	457	170	112	82	71	703	714	916.1			
3	K0+401	40.5	18.2	13.2	378	178	86	68	56	48	261	297	373	176	85	67	55	48	257	293	400.0			
4	K0+600	38.5	18.7	13.3	701	346	145	117	77	76	534	555	729	360	151	121	80	79	555	577	776.8			
5	K0+801	41.4	18.6	13.6	491	305	147	109	86	77	397	432	474	294	142	105	83	75	383	417	560.6			
6	K1+001	37.7	18.7	13.9	1040	479	177	129	100	86	738	832	1105	508	188	136	106	91	783	883	1306.0			
7	K1+201	39.9	19.3	14.9	396	230	126	99	79	68	312	347	396	230	126	99	79	68	312	347	466.4			
8	K1+400	39.1	19.2	14.4	444	221	114	90	74	67	316	371	453	226	117	92	76	69	323	379	534.2			
9	K1+605	39.1	18.7	14.2	702	427	214	164	118	98	548	629	719	437	219	168	120	101	561	644	850.5			
10	K1+800	39.5	18.7	15.2	382	244	141	111	87	74	311	330	387	248	143	112	88	75	315	335	468.7			
11	K2+000	40.1	17.8	14.7	284	118	59	47	38	34	176	205	284	118	59	47	38	34	176	205	345.8			
12	K2+202	39.1	18.3	15.2	538	290	153	110	81	69	396	454	551	237	156	113	83	70	406	465	653.4			
13	K2+398	38.8	20.3	15.4	510	274	129	96	74	64	371	426	526	283	133	99	76	65	383	440	525.0			
14	K2+600	38.7	18.1	15.3	516	227	88	65	52	47	347	402	534	235	91	67	54	49	360	416	648.8			
15	K2+802	38.7	19.2	15.4	668	216	78	61	52	46	370	456	692	223	81	63	54	48	382	472	835.1			
16	K3+004	39.0	19.1	15.3	530	269	99	75	59	58	375	440	544	277	101	77	61	60	385	452	640.9			
17	K3+200	38.9	20.3	16.1	532	256	96	69	52	47	379	447	547	263	99	71	54	49	390	459	545.4			
18	K3+400	39.2	19.9	15.9	514	323	141	103	78	68	419	467	524	329	144	105	80	69	427	476	614.2			
19	K3+601	39.8	20.7	16.2	535	191	77	61	50	43	340	395	539	192	77	61	50	44	342	398	534.1			
20	K3+805	38.4	20.1	15.9	646	239	63	55	46	41	418	523	674	249	66	57	48	43	436	545	673.5			
21	K4+020	38.6	20.5	16.3	588	291	94	68	55	48	434	482	609	302	98	70	57	50	450	500	606.1			
22	K4+200	39.0	21.2	16.0	557	161	71	62	54	47	328	427	572	165	73	64	55	49	337	438	563.9			
23	K4+401	38.0	20.6	16.3	541	253	129	104	87	78	371	441	569	267	136	110	92	82	390	465	565.9			
24	K4+602	37.2	21.5	16.5	827	375	134	100	77	68	641	708	888	403	144	107	83	73	689	761	872.1			
25	K4+801	39.0	21.3	16.4	487	166	75	59	49	42	283	351	500	171	77	60	50	44	290	361	492.0			
26	K5+004	38.2	21.7	16.9	699	250	89	69	59	53	431	645	732	262	94	73	62	56	452	676	717.5			
27	K5+050	39.6	27.2	25.3	747	368	138	101	82	72	567	649	754	371	139	102	83	73	572	655	687.6			
28	K5+103	40.5	24.8	24.8	580	221	84	67	57	47	383	454	573	218	83	66	56	46	379	449	539.5			
29	K5+200	40.8	25.8	25.5	509	180	80	63	52	46	296	343	498	176	78	62	51	45	290	336	462.9			
30	K5+401	40.4	26.3	24.6	570	251	125	98	85	75	400	461	564	249	124	97	84	75	396	456	521.2			
31	K5+606	40.0	24.4	24.3	851	444	202	150	120	103	658	738	851	444	202	150	120	103	659	738	805.6			
32	K5+802	39.4	24.2	24.2	860	455	200	156	122	107	655	764	874	463	204	159	124	108	666	776	829.2			
33	K6+002	40.3	26.1	23.9	570	205	71	55	46	41	375	431	565	204	70	54	46	40	372	427	523.3			
34	K6+201	41.9	24.5	24.4	385	223	118	96	81	75	276	312	367	212	112	92	77	72	263	298	346.6			

figura 27 Procesamiento deflexiones.

Fuente: REPASOFT V 3.0

Espesores de Estructura			Parámetros Estructurales AASHTO							
Capa Asfáltica	Granulares	Espesor Total	Espesor máx	Mr Diseño	Ep Diseño	Do Calculado	ae	r	r > 0.7 ae	Sneff
cm	cm	cm	cm	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	mm	cm	cm	cm	
10.0	55.00	65.0	65.0	780	4,523	224	82	60	OK	3.7
10.0	40.00	50.0	50.0	305	978	916	53	60	OK	2.1
10.0	40.00	50.0	50.0	644	2,350	400	55	60	OK	2.7
10.0	45.00	55.0	55.0	344	1,187	777	59	60	OK	2.4
8.0	22.00	30.0	30.0	379	1,337	561	35	30	OK	1.3
8.0	22.00	30.0	30.0	200	521	1,306	32	30	OK	1.1
6.0	34.00	40.0	40.0	427	1,811	466	47	60	OK	1.9
6.0	34.00	40.0	40.0	452	1,549	534	44	60	OK	1.9
6.0	34.00	40.0	40.0	240	971	850	47	60	OK	1.5
5.0	25.00	30.0	30.0	429	1,524	469	35	30	OK	1.4
5.0	25.00	30.0	30.0	915	2,094	346	31	30	OK	1.8
8.0	52.00	60.0	60.0	336	1,473	653	69	60	OK	2.6
8.0	52.00	60.0	60.0	392	1,820	525	71	60	OK	2.7
4.0	36.00	40.0	40.0	442	1,259	649	42	30	OK	1.9
4.0	36.00	40.0	40.0	466	978	835	38	30	OK	1.9
7.0	53.00	60.0	60.0	518	1,497	641	61	60	OK	3.0
7.0	28.00	35.0	35.0	398	1,412	545	40	30	OK	1.6
7.0	28.00	35.0	35.0	321	1,264	614	41	30	OK	1.5
12.0	48.00	60.0	60.0	691	1,834	534	59	60	OK	3.3
12.0	48.00	60.0	60.0	784	1,404	674	53	60	OK	3.4
10.0	14.00	24.0	24.0	344	986	606	28	30	OK	1.0
10.0	14.00	24.0	24.0	636	1,067	564	25	30	OK	1.3
11.0	29.00	40.0	40.0	376	1,420	566	46	60	OK	1.8
12.0	10.00	22.0	22.0	249	617	872	25	30	OK	0.9
12.0	10.00	22.0	22.0	614	1,141	492	24	30	OK	1.2
12.0	40.00	52.0	52.0	548	1,251	717	50	60	OK	2.6
12.0	40.00	52.0	52.0	383	1,356	688	57	60	OK	2.3
12.0	40.00	52.0	52.0	658	1,764	540	52	60	OK	2.8
12.0	40.00	52.0	52.0	701	2,074	463	54	60	OK	2.9
12.0	40.00	52.0	52.0	439	1,823	521	60	60	OK	2.5
12.0	40.00	52.0	52.0	266	1,167	806	61	60	OK	2.1
12.0	40.00	52.0	52.0	260	1,117	829	60	60	OK	2.1
12.0	40.00	52.0	52.0	774	1,811	523	50	60	OK	3.0
16.0	29.00	45.0	45.0	502	2,696	347	56	60	OK	2.2

figura 28 Procesamiento parámetros estructurales.

Fuente: REPASOFT V 3.0

3.1.9 Secciones estructurales.

En esta ventana se hace el análisis estadístico de los parámetros estructurales para los sectores ya definidos en la ventana deflexión bajo el plato de carga y radio de curvatura de los sectores homogéneos. Se hace un análisis respecto a tres parámetros estructurales los cuales son:

- Módulo resiliente (M_r).
- Modulo efectivo (E_p).
- Número estructural efectivo (S_{neff}).

El análisis estadístico corresponde a los intervalos de para el nivel de confianza seleccionado en la ventana datos del proyecto, ver (figura 29).

RESULTADOS ESTADÍSTICOS			
SECCIÓN 1			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
M_r	470	131	437
E_p	2849	1323	2513
S_{neff}	2.6	0.9	2.4
SECCIÓN 2			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
M_r	670	271	535
E_p	5033	4397	2845
S_{neff}	3.7	1.2	3.1
SECCIÓN 3			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
M_r	554	214	463
E_p	2678	1111	2204
S_{neff}	2.7	0.6	2.4
SECCIÓN 4			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
M_r	756	169	700
E_p	3536	995	3202
S_{neff}	4	0.4	3.9
SECCIÓN 5			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
M_r	604	285	518
E_p	2523	1029	2210
S_{neff}	3.4	0.9	3.1
SECCIÓN 6			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
M_r	722	240	652
E_p	4354	1441	3935
S_{neff}	4.2	0.8	4
SECCIÓN 7			
PARÁMETRO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	PARÁMETRO FINAL
M_r	530	233	445
E_p	3051	1269	2586
S_{neff}	3.9	1	3.5

figura 29 Resultados estadísticos parámetros estructurales.

Fuente: REPASOFT V 3.0

En esta sección también se generan tres gráficos los cuales corresponden a cada uno de los parámetros estructurales mencionados anteriormente vs abscisa, ver (figura 30, figura 31, figura 32).

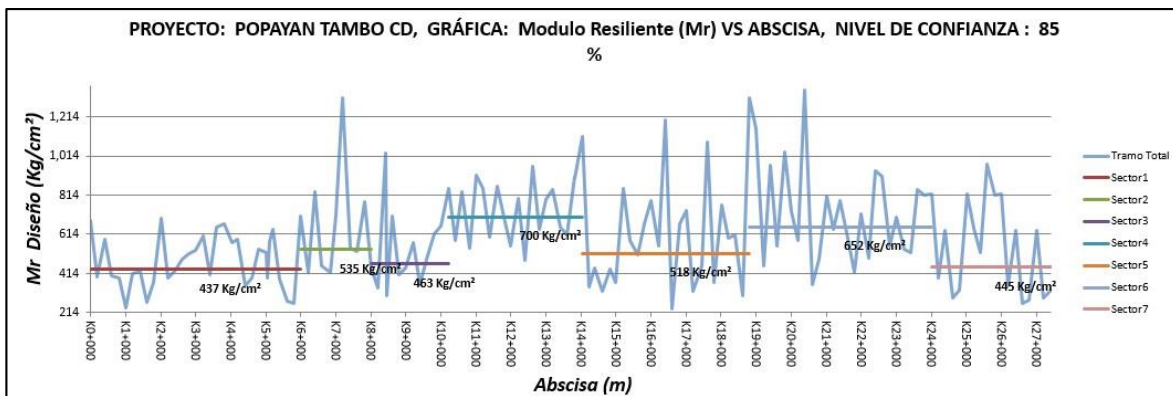


figura 30 Módulo resiliente de diseño (Mr) vs abscisa.

Fuente: REPASOFT V 3.0

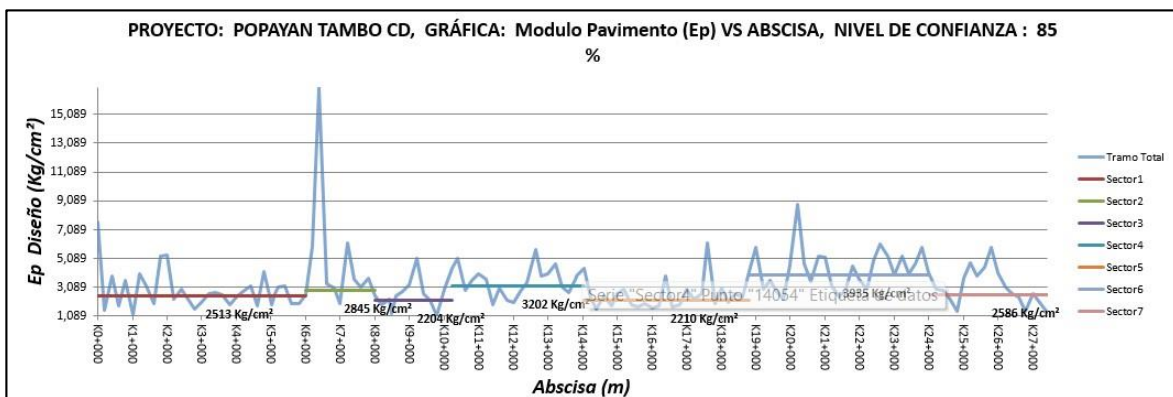


figura 31 Módulo efectivo (Ep) vs abscisa.

Fuente: REPASOFT V 3.0

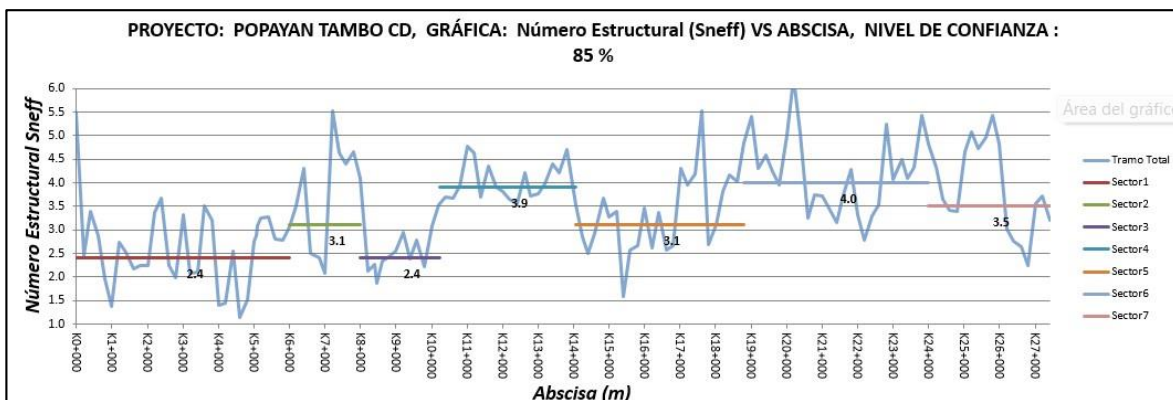


figura 32 Número estructural efectivo (SNeff).

Fuente: REPASOFT V 3.0

Para el análisis estadístico se utilizaron intervalos de confianza, debido a la variabilidad de los datos, que dependen de varios factores como: la humedad, el estado de deterioro de la estructura de pavimento, temperatura, entre otros. Por esta razón se determinaron tramos diferenciados por espesores de la estructura, mostrados como sectores en las gráficas anteriores, ver (figura 30, figura 31 y figura 32).

Se toma el intervalo inferior debido a que los valores críticos para un análisis estructural del pavimento se encuentran cuando los valores son los mínimos.

3.1.1 Resumen.

Con los datos del módulo resiliente de diseño (M_r), modulo efectivo (E_p), y número estructural efectivo (SNeff). Se programa un script para generar un cuadro resumen para cada sector homogéneo del estudio deflectométrico generando límites de confianza para el nivel de confianza seleccionado en la ventana datos del proyecto, se escoge el nivel inferior

del nivel de confianza debido a que para los parámetros estructurales este es el valor crítico, ver (figura 33).

SECCIÓN	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	Doc (um)	Rc (m)	Sneff	Mr (Kg/cm ²)	Ep (Kg/cm ²)
1	K0+107	K6+000	77.9	127	1.9	409	1230
2	K6+000	K8+000	68.7	131	2.5	439	1488
3	K8+000	K10+217	67.0	114	2.0	384	1269
4	K10+217	K14+054	78.5	109	2.9	471	1428
5	K14+054	K18+803	54.5	156	2.6	460	1895
6	K18+803	K24+004	50.7	161	2.9	534	2027
7	K24+004	K27+510	50.2	160	3.0	518	2045

figura 33 Resumen deflectometría.

Fuente: REPASOFT V 3.0

3.2 Metodología para la determinación del módulo resiliente de la subrasante (Mr) a partir del California Bearing Ratio (CBR).

El estudio de los suelos para la fundación de la estructura del pavimento, es fundamental para calificar su capacidad mecánica y estabilidad volumétrica frente a cambios de humedad en un tramo homogéneo definido, esta calificación estará ligada a la confiabilidad requerida y la categoría o importancia de la vía evaluada. Es importante aclarar que, en tanto que las propiedades físicas y mecánicas son suficientes para tener una respuesta adecuada a las solicitaciones del tránsito y cambios de humedad, los suelos naturales podrán ser usadas como subrasante de apoyo sin necesidad de mejoramiento.

La exploración de la subrasante debe ser lo suficientemente profunda para identificar los suelos que van a ser afectados por la construcción del pavimento y caracterizar los suelos

naturales que se desempeñarán como subrasante y hasta donde los esfuerzos inducidos por las cargas del Tránsito no sean significativos.

El espaciamiento y profundidad de los apiques y/o sondeos dependerá adicionalmente de la variabilidad del suelo explorado en sentido de avance de la vía y del tránsito, para ello el Manual de Diseño de Pavimentos en vías con alto y medio Volumen de Tráfico - 2019 del INVIAS, expone algunas recomendaciones que se nombran a continuación, considerando que los factores principales que controlan la profundidad y separación de exploración son los siguientes:

Categoría de la vía que incluye la Magnitud y distribución de las cargas del tránsito, impuestas por el pavimento.

La naturaleza y condiciones en el suelo.

Categoría del Tránsito	Espaciamiento longitudinal (m)	Profundidad a partir de la cota de subrasante (m)
NT2 (Entre 0.5 y 5 millones de ejes equivalentes N80KN en el carril de diseño)	250	1.5
NT3 (Mayor a 5 millones de ejes equivalentes N80KN en el carril de diseño)	200	1.5

figura 34 Espaciamiento Sugerido en Exploración en función del Tránsito

Fuente: Manual Diseño de Pavimentos INVIAS 2019.

Para el tramo Popayán - Tambo, se ha determinado en promedio la elaboración de apiques entre 300 m y 500 m, a una profundidad de 1.5 m.

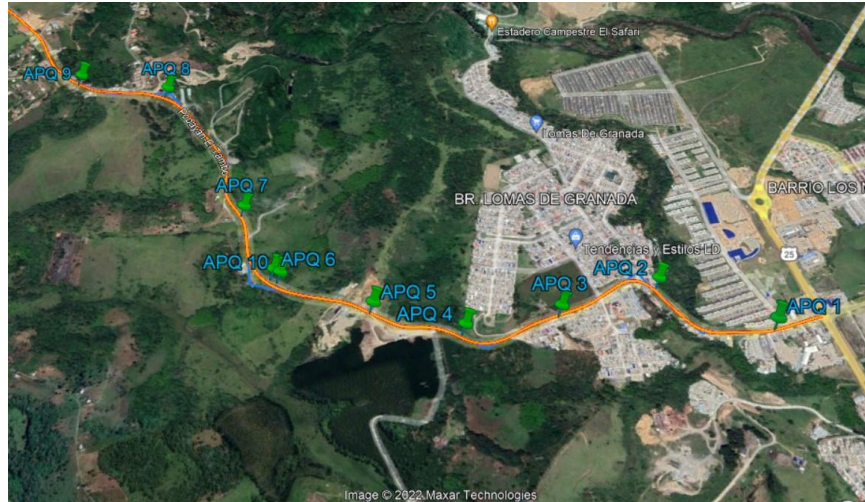


figura 35 Distribución apiques Popayán – El Tambo.

Fuente: Google Earth.



figura 36 Apique No. 2

Fuente: CyH ingeniería y construcción SAS.

Como parámetro principal del comportamiento mecánico característico de la subrasante para el proyecto se define el uso del CBR de diseño y como parámetro de comparación directa con el Módulo resiliente de la subrasante, y en la cual para cada uno de los apiques realizados se tienen ensayos tanto en Inmersión como sin inmersión para una misma

unidad, con el objetivo de apreciar el comportamiento de los mismo ante los cambios de estado en la subrasante, es decir bajo condiciones de toma normal y bajo condiciones de saturación. (CONSORCIO DESARROLLO PACÍFICO,2021)

Con los resultados de laboratorio se organizó una tabla con la siguiente información por cada apique:

- Número de apique.
- Abscisa.
- Número de muestra.
- Profundidad (m).
- Granulometría.
- Límites de Atterberg.
- Humedad natural (%).
- Materia Orgánica (%).
- Clasificación SUCS.
- Masa unitaria: húmeda, seca (g/cm³).
- CBR Natural (%)
- CBR Saturado (%).

Una vez obtenidos los CBR de diseño, se procede al cálculo del Módulo resiliente para lo cual se puede estimar en función del mismo CBR. Para dicho fin se utilizó las siguientes metodologías para estimar el Mr a partir del CBR:

- Heukelom & Foster (1960) y Heukelom & Klomp (1962).
- Green & Hall (1975).
- Uzan et al. (1977).
- Powell et al. (1984).
- Lister & Powell (1987).
- Ayres (1997).
- Reyes (2003).
- El MOP de Chile (2004).

4. Resultados deflectometría, Popayán – El Tambo.

4.1 Deflectometría Popayán – El Tambo.

Inicialmente analizamos el tramo total, conociendo su abscisa inicial, final.

- Abscisa Inicial: K00 + 000
- Abscisa Final: K27 + 405

4.1.1 Chequeo temperatura de ensayo.

Chequeamos que la temperatura del pavimento no supere los 35°C y que la temperatura del pavimento sea mayor a la temperatura del aire, ver anexos (Tabla anexo 1).

4.1.2 Datos del proyecto.

Los datos para el análisis deflectométrico del carril derecho son los siguientes, ver (Tabla 5).

Tabla 5: Datos del proyecto carril derecho.

Proyecto:		POPAYAN TAMBO CD	
Abscisa Inicial:	K00+000	Abscisa Final:	K27+405
Temperatura estándar:		20°C	
Carga estándar		40 KN	

Coefficiente C para Mr	0.33	Pavimento con base granular o tratada con asfalto
Radio de plato de carga	5.90	Pulg.
Ajuste para d₀ por temperatura para:	Pavimento con base granular o tratada con asfalto	
Tipo de Superficie:	Concreto Asfáltico	
Nivel de Confiabilidad:	85 %	

4.1.3 Estructura del pavimento.

Con la información de los apiques se estableció la dimensión de las capas de la estructura del pavimento, ver anexos (Tabla anexo 3).

4.1.4 Sectorización deflectométría.

Se identificaron los tramos homogéneos con el método de las diferencias acumuladas, ver anexos (Tabla anexo 4).

Del método de diferencias acumuladas se presenta la siguiente gráfica, ver (figura 37).

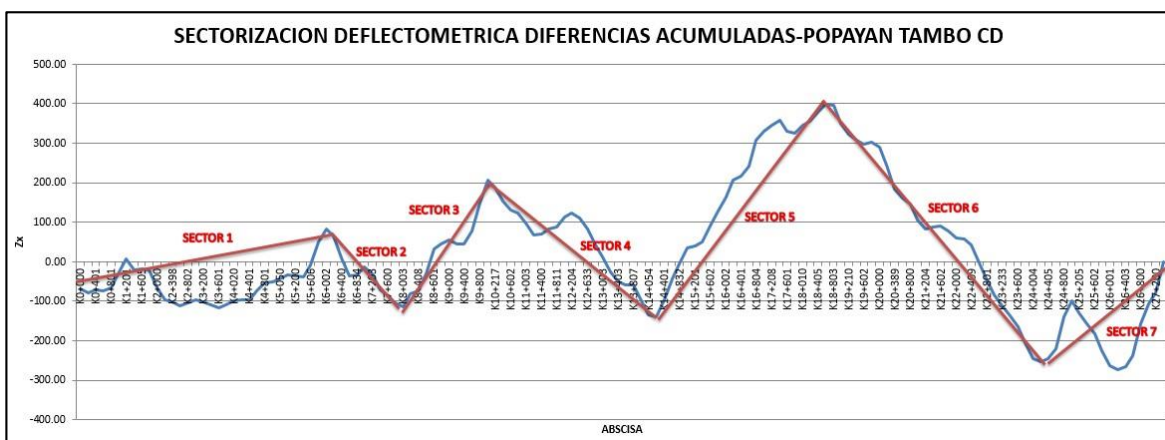


figura 37. Sectorización deflectométrica Popayán – El Tambo, carril derecho.

Fuente: REPASOFT V 3.0

Del anterior análisis se pudo obtener los siguientes tramos homogéneos, ver (Tabla 6).

Tabla 6: Tramos homogéneos carril derecho.

SECTORIZACIÓN DE LA VÍA		
SECCIONES	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL
1	K00+000	K6+000
2	K06+000	K8+000
3	K08+000	K10+217
4	K10+217	K14+054
5	K14+054	K18+803
6	K18+803	K24+004
7	K24+004	K27+405

4.1.5 Deflexión bajo el plato de carga y radio de curvatura del tramo total, carril derecho.

Se realiza la estadística del tramo total aplicando límites de confiabilidad para las variables radio de curvatura “Rc” y para la deflexión bajo el plato de carga “DoC”, con un nivel de confianza del 85%, los resultados se presentan a continuación, ver (Tabla 7), (figura 38 y figura 39).

Tabla 7 : Resultados estadísticos tramo total carril derecho.

Resultados estadísticos tramo total carril derecho			
Parámetro	Promedio	Desviación estándar	Parámetro final
Rc	174	87	164
Do (μm)	53	21	56

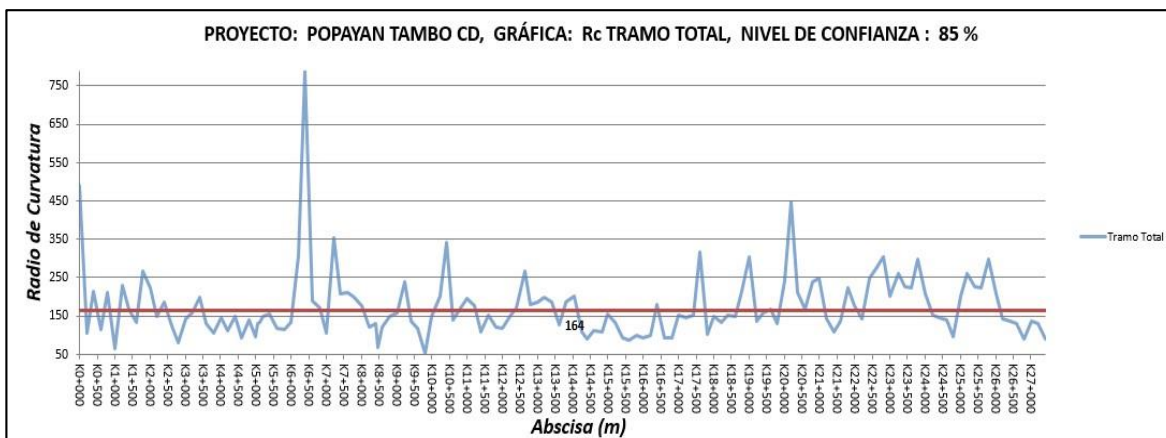


figura 38. Radio de curvatura tramo total, carril derecho

Fuente: REPASOFT V 3.0

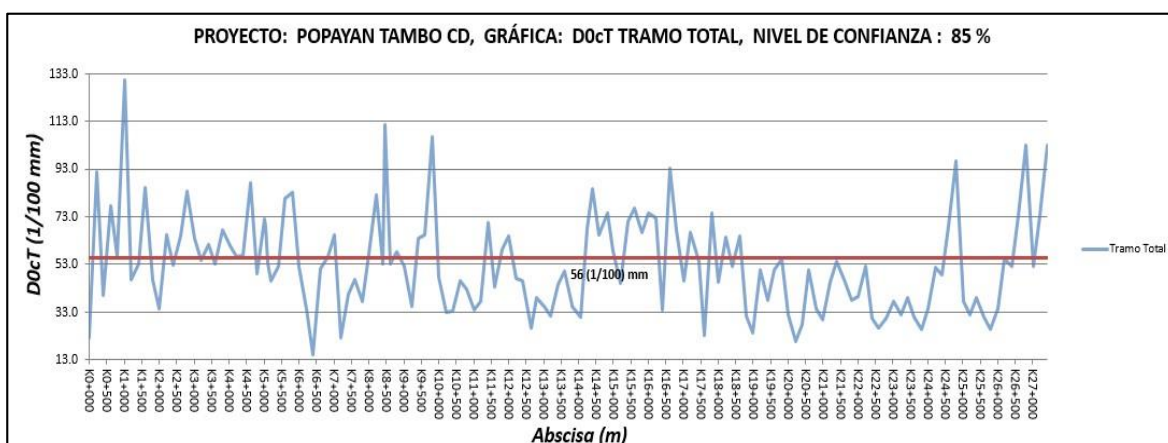


figura 39. Deflexión bajo el plato de carga tramo total, carril derecho.

Fuente: REPASOFT V 3.0

4.1.1 Deflexión bajo el plato de carga y radio de curvatura para los tramos homogéneos, carril derecho.

Se realiza la estadística para los tramos homogéneos igualmente aplicando límites de confiabilidad para las variables radio de curvatura “Rc” y para la deflexión bajo el plato de

carga “DoC”, con un nivel de confianza del 85%, los resultados se presentan a continuación, ver (Tabla 8), (figura 40 y figura 41).

Tabla 8: Resultados estadísticos tramos homogéneos carril derecho.

Resultados estadísticos				
Tramo homogéneo	Parámetro	Promedio	Desviación estándar	Parámetro final
1	Rc	157	76	138
	Do (µm)	63	20	68
1	Rc	267	197	169
	Do (µm)	42	15	49
2	Rc	140	50	119
	Do (µm)	63	23	73
3	Rc	178	53	160
	Do (µm)	43	11	46
4	Rc	134	51	119
	Do (µm)	61	17	67
5	Rc	216	74	195
	Do (µm)	38	10	40
6	Rc	165	61	143
	Do (µm)	58	24	66

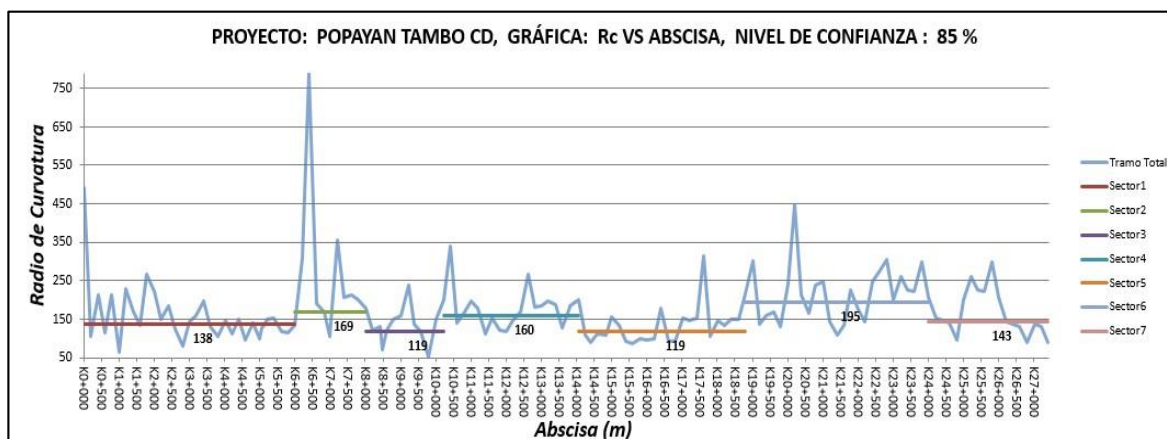


figura 40. Radio de curvatura tramos homogéneos, carril derecho

Fuente: REPASOFT V 3.0

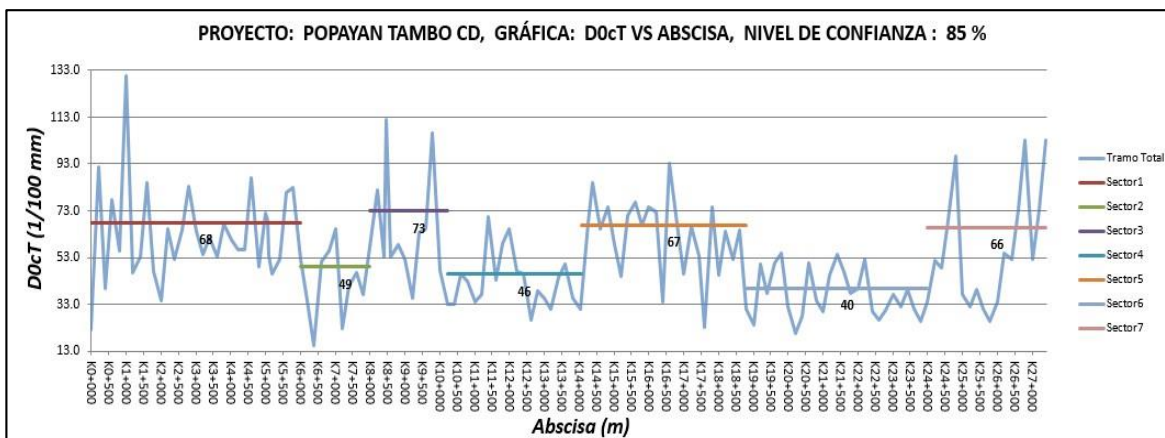


figura 41. Deflexión bajo el plato de carga tramos homogéneos carril derecho.

Fuente: REPASOFT V 3.0

4.1.2 Corrección deflexiones por carga, temperatura y cálculo del módulo resiliente de la sub-rasante.

Se corrigen las deflexiones por carga y por temperatura obteniendo los siguientes resultados, ver (Tabla 9).

Tabla 9: Corrección deflexiones por carga y temperatura carril derecho.

Abscisa (m)	Carga (kN)	Temperatura		Deflexiones corregidas por carga y temperatura (µm).							
		Aire °C	Pav. °C	0 cm	20 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm	-20 cm
K0+000	40.2	18.7	12.2	223.8	175.3	123.9	69.3	56.2	47.3	41.7	161.9
K0+200	38.7	17.7	12.8	916.1	714.4	456.5	170.3	111.7	82.0	71.5	703.4
K0+401	40.5	18.2	13.2	400.0	293.3	176.0	84.7	66.9	55.2	47.6	257.2
K0+600	38.5	18.7	13.3	776.8	577.5	359.6	150.8	121.5	80.3	79.2	555.3
K0+801	41.4	18.6	13.6	560.6	417.1	294.4	142.3	105.2	82.7	74.6	383.2
K1+001	37.7	18.7	13.9	1306.0	882.9	508.0	187.7	136.5	105.7	90.9	783.4
K1+201	39.9	19.3	14.9	466.4	347.4	229.9	125.9	99.2	78.8	67.7	312.1
K1+400	39.1	19.2	14.4	534.2	379.5	225.6	116.5	92.4	76.0	68.5	322.9
K1+605	39.1	18.7	14.2	850.5	644.1	437.0	219.3	167.5	120.4	100.7	561.4
K1+800	39.5	18.7	15.2	468.7	334.8	247.7	142.9	112.3	87.8	74.7	314.9
K2+000	40.1	17.8	14.7	345.8	204.8	117.9	59.1	46.6	38.0	34.0	175.7
K2+202	39.1	18.3	15.2	653.4	465.1	296.8	156.3	112.9	83.2	70.5	406.1
K2+398	38.8	20.3	15.4	525.0	439.5	282.9	133.3	99.3	76.5	65.5	382.9
K2+600	38.7	18.1	15.3	648.8	416.3	235.2	91.5	67.0	54.1	49.2	359.6
K2+802	38.7	19.2	15.4	835.1	472.3	223.1	81.0	62.8	53.6	47.6	382.4
K3+004	39.0	19.1	15.3	640.9	451.6	276.6	101.2	77.2	60.8	60.0	385.4

K3+200	38.9	20.3	16.1	545.4	459.4	263.1	98.7	71.0	53.8	48.8	389.7
K3+400	39.2	19.9	15.9	614.2	475.7	329.4	143.7	105.4	80.0	68.9	426.8
K3+601	39.8	20.7	16.2	534.1	397.8	192.1	77.4	61.3	50.1	43.7	341.8
K3+805	38.4	20.1	15.9	673.5	544.7	249.0	65.9	56.9	48.4	42.6	435.6
K4+020	38.6	20.5	16.3	606.1	500.0	301.9	98.0	70.1	56.6	49.8	450.5
K4+200	39.0	21.2	16.0	563.9	438.3	165.0	73.3	63.6	55.3	48.8	336.6
K4+401	38.0	20.6	16.3	565.9	464.8	266.9	135.9	109.9	91.7	81.8	390.5
K4+602	37.2	21.5	16.5	872.1	760.8	403.1	144.1	107.0	83.0	72.9	688.8
K4+801	39.0	21.3	16.4	492.0	360.6	170.8	77.4	60.5	49.8	43.5	290.2
K5+004	38.2	21.7	16.9	717.5	675.6	261.7	93.7	72.7	62.0	55.6	451.8
K5+050	39.6	27.2	25.3	687.6	655.5	371.4	139.2	102.0	82.8	72.5	572.4
K5+103	40.5	24.8	24.8	539.5	448.5	218.1	82.8	65.8	56.0	46.4	378.8
K5+200	40.8	25.8	25.5	462.9	336.4	176.2	78.4	62.0	50.8	44.8	290.4
K5+401	40.4	26.3	24.6	521.2	456.1	248.5	123.8	97.1	83.8	74.7	396.2
K5+606	40.0	24.4	24.3	805.6	738.3	443.9	202.2	150.4	120.2	103.4	658.5
K5+802	39.4	24.2	24.2	829.2	775.8	462.7	203.6	159.0	124.4	108.4	665.6
K6+002	40.3	26.1	23.9	523.3	427.3	203.7	70.1	54.2	45.9	40.3	372.1
K6+200	41.9	24.5	24.4	346.6	297.9	212.2	112.4	91.8	77.0	71.7	263.0
K6+400	42.3	23.8	23.8	151.7	135.9	99.0	60.8	49.0	39.1	32.9	123.7
K6+601	40.4	25.9	23.2	511.9	469.1	294.7	120.6	93.0	71.9	62.1	425.7
K6+834	40.4	26.9	23.2	560.8	525.0	322.5	140.9	104.4	77.5	64.9	480.7
K7+000	38.7	27.3	22.8	652.5	551.3	247.3	73.0	55.7	45.7	39.9	490.7
K7+203	41.5	26.9	22.9	224.7	189.0	106.7	44.1	34.3	24.7	18.9	169.7
K7+400	40.5	28.9	23.2	407.5	375.5	212.8	97.6	80.1	67.3	59.7	325.5
K7+600	39.8	29.0	22.9	467.2	438.4	285.3	138.3	100.3	74.3	61.8	388.2
K7+807	41.1	22.2	22.2	373.5	310.8	152.7	59.4	47.5	41.6	35.6	237.3
K8+003	39.2	27.5	22.1	572.0	538.6	350.4	161.6	117.8	87.0	73.5	486.6
K8+206	38.3	24.2	23.1	819.6	734.9	469.6	186.2	133.1	95.1	81.0	686.5
K8+408	38.7	30.3	22.1	532.7	452.1	212.1	100.3	80.6	31.5	31.2	376.2
K8+468	37.2	29.1	23.4	1118.0	994.2	530.0	177.0	137.7	108.2	101.4	853.0
K8+601	38.9	30.5	23.1	534.6	476.9	185.6	69.7	54.0	45.9	44.1	382.7
K8+802	38.9	29.0	22.5	585.1	547.9	319.8	141.0	107.5	79.1	71.8	480.8
K9+000	39.4	31.0	22.7	520.9	480.5	273.5	121.7	92.0	73.2	63.4	405.8
K9+217	40.3	31.3	22.8	355.1	327.6	191.1	96.2	72.9	56.8	49.0	283.2
K9+400	39.0	30.8	23.1	637.5	611.8	352.1	147.4	112.2	90.4	78.9	517.2
K9+587	38.3	28.5	22.5	653.9	594.0	306.4	119.4	87.0	66.6	58.4	485.5
K9+800	37.1	30.5	22.3	1064.3	961.9	218.3	75.7	62.5	52.6	47.4	565.4
K10+001	38.9	31.8	21.9	474.5	440.9	200.0	83.5	62.4	49.6	43.6	341.7
K10+217	40.3	31.1	21.9	330.9	281.7	123.9	48.5	41.9	38.4	31.0	220.1
K10+403	40.5	30.1	22.5	332.4	324.5	226.9	102.4	73.3	55.7	48.2	305.2
K10+602	38.9	32.6	23.4	462.2	391.5	165.2	60.1	46.5	38.9	34.5	303.7
K10+806	39.9	33.1	22.8	427.5	385.6	191.0	83.9	70.5	60.0	52.9	305.2
K11+003	39.3	25.4	23.3	341.8	264.1	120.3	57.2	44.2	35.4	30.5	207.7
K11+201	39.4	33.4	22.8	374.2	329.1	144.8	65.8	53.4	42.8	38.2	257.1
K11+400	38.2	25.6	22.7	705.5	595.6	318.3	106.1	77.1	62.5	54.2	524.6
K11+602	39.5	33.0	22.4	436.2	381.0	167.0	72.2	55.8	44.4	37.8	313.2
K11+811	39.2	30.0	23.1	591.0	512.6	251.0	92.6	71.0	55.0	46.4	420.3
K12+000	38.3	28.6	22.4	650.4	604.4	299.2	104.4	82.7	67.3	58.3	493.6
K12+204	38.8	28.8	22.3	471.9	424.1	187.9	69.1	51.5	40.8	35.3	325.5
K12+406	39.1	28.6	22.7	458.8	416.7	216.2	95.5	78.3	67.6	60.4	345.2
K12+633	40.7	25.9	22.2	262.8	218.2	102.2	52.0	41.5	33.7	30.7	173.7

K12+801	40.1	27.3	21.8	388.8	294.0	152.4	81.3	65.1	50.9	44.1	220.8
K13+003	39.0	29.8	22.3	355.4	260.2	127.1	60.7	49.0	40.9	35.9	212.8
K13+202	39.3	31.1	23.3	312.4	244.7	98.6	54.8	46.3	38.5	34.7	180.3
K13+403	40.2	29.3	23.0	445.4	420.9	229.9	96.0	73.8	58.6	49.8	364.6
K13+601	38.9	28.4	23.2	501.3	388.9	166.8	81.7	65.3	53.0	46.2	297.1
K13+807	40.1	28.7	22.9	357.2	276.3	122.9	56.0	43.6	35.7	30.9	221.6
K13+807	39.6	28.2	22.6	355.7	282.0	124.8	56.9	44.1	36.1	31.3	222.5
K14+054	40.0	30.6	22.9	310.5	238.3	99.5	45.7	36.5	29.2	25.4	183.7
K14+244	37.6	28.3	22.9	678.7	629.1	287.0	155.8	122.0	94.5	91.8	467.9
K14+401	37.4	24.1	22.8	848.0	738.0	368.2	131.9	92.7	73.4	63.9	594.4
K14+600	38.4	32.4	23.3	653.0	594.4	299.3	150.3	125.2	100.6	85.8	487.5
K14+832	37.4	34.6	23.2	743.2	762.4	392.6	165.3	118.3	89.2	74.5	605.5
K15+000	38.2	34.6	24.0	587.1	610.4	359.9	166.4	128.3	101.4	87.6	527.6
K15+201	38.7	31.8	23.6	450.1	405.3	135.6	57.3	46.5	38.4	34.4	324.1
K15+402	37.4	29.3	23.7	710.0	605.1	250.4	90.4	70.6	55.7	47.3	455.5
K15+602	37.1	33.3	23.2	768.1	689.1	285.4	108.2	85.2	63.5	52.6	526.6
K15+803	37.9	32.2	23.8	666.4	554.4	237.3	73.5	62.5	48.8	41.3	432.7
K16+002	37.1	32.0	23.1	747.5	662.2	301.0	69.6	52.0	49.3	41.4	518.2
K16+202	37.6	32.9	22.7	722.7	664.2	318.0	101.5	73.4	58.3	50.5	534.3
K16+401	39.3	32.9	23.8	339.6	268.7	103.4	43.9	33.8	27.1	23.3	198.7
K16+601	37.2	30.2	23.5	931.7	855.8	504.3	231.7	175.7	138.9	116.2	782.9
K16+804	40.6	30.7	23.9	675.5	583.9	221.4	89.8	65.3	48.8	42.0	495.6
K17+006	39.8	33.9	23.5	459.5	448.9	196.5	75.3	60.2	50.3	44.1	364.7
K17+208	37.1	32.0	23.9	664.4	688.2	417.4	198.0	146.6	117.3	100.1	593.3
K17+433	38.3	25.4	23.7	540.6	461.1	262.4	124.0	98.0	79.9	71.2	388.6
K17+601	40.1	34.9	23.7	232.7	213.5	109.1	51.2	41.0	33.9	29.9	175.5
K17+810	36.7	32.3	23.1	745.8	721.8	365.2	155.3	114.9	88.0	76.1	593.6
K18+010	38.1	31.8	24.4	456.2	414.4	176.2	64.5	50.9	42.4	37.6	315.0
K18+202	38.5	32.8	23.1	644.4	634.8	359.4	126.0	85.0	63.6	54.4	555.3
K18+405	39.8	31.7	24.9	520.0	491.3	257.0	110.1	80.7	61.6	53.1	404.4
K18+605	37.5	33.8	24.6	647.0	673.0	412.4	198.9	155.1	125.0	107.4	581.3
K18+803	41.4	33.2	24.7	311.4	265.7	120.6	45.7	34.9	28.5	24.8	218.8
K19+000	43.3	32.1	23.8	241.7	216.9	108.5	50.2	38.7	31.7	28.2	175.1
K19+210	38.7	24.8	24.8	504.4	390.5	185.1	110.1	88.1	71.6	61.1	317.0
K19+403	38.7	34.4	25.3	377.8	324.6	111.7	54.4	45.2	38.1	33.6	246.3
K19+602	38.4	32.2	25.3	508.0	497.6	281.3	129.4	95.8	71.5	58.8	407.6
K19+803	37.5	34.1	25.1	550.3	538.5	246.8	75.8	50.3	37.1	31.4	419.7
K20+000	38.9	33.7	26.7	319.2	292.4	159.2	82.0	64.7	51.7	44.4	248.0
K20+203	39.7	34.0	27.9	206.3	191.6	126.4	84.7	71.6	62.2	55.5	165.2
K20+389	39.7	29.0	28.8	280.1	206.2	76.5	33.8	28.6	24.0	21.5	158.1
K20+600	38.9	31.9	28.1	504.9	494.1	273.0	134.4	108.1	91.1	82.2	414.5
K20+800	39.1	31.8	27.2	344.7	312.9	182.2	106.0	83.9	66.5	56.6	259.8
K21+000	39.4	30.6	28.3	297.9	260.9	133.7	64.8	50.1	40.0	33.8	217.6
K21+204	39.6	34.9	28.8	454.2	404.7	168.1	77.0	61.8	50.8	43.4	324.9
K21+400	39.1	31.3	27.8	543.4	448.2	148.1	65.0	50.9	41.3	35.3	328.4
K21+602	38.8	33.7	28.8	468.6	428.8	162.2	76.1	64.6	54.7	48.4	320.2
K21+801	39.8	34.1	27.6	378.3	350.9	213.6	122.8	98.3	77.8	66.9	298.8
K22+000	40.0	34.6	27.9	397.5	382.1	170.5	72.7	56.7	45.2	39.4	306.7
K22+202	39.1	34.8	27.5	524.3	509.6	254.1	107.8	81.6	65.7	56.6	408.5
K22+409	40.3	28.5	27.8	301.7	264.2	132.7	54.9	42.1	34.5	30.7	218.1
K22+600	40.6	34.9	27.8	261.1	224.6	118.0	55.6	43.8	35.6	31.3	194.6

K22+801	40.2	34.7	28.3	305.6	304.8	190.0	110.3	87.8	69.8	58.4	263.1
K23+013	40.1	30.1	28.6	372.7	333.6	168.3	73.8	57.8	46.1	39.5	274.8
K23+233	40.1	34.6	28.5	317.9	296.9	174.7	96.3	76.1	60.3	50.4	251.2
K23+411	39.7	34.8	27.4	392.3	391.5	234.6	123.4	95.5	74.0	62.5	333.1
K23+600	40.1	34.9	28.4	309.5	269.7	129.5	59.6	47.2	38.5	33.5	219.5
K23+806	40.4	34.8	28.8	258.3	245.5	129.7	69.1	55.8	46.0	40.0	201.5
K24+004	40.1	34.8	28.4	342.3	320.6	150.7	66.6	52.9	44.6	39.5	252.7
K24+206	39.6	34.8	28.3	515.2	496.8	264.3	132.9	109.1	92.4	82.9	398.8
K24+405	39.2	34.8	28.3	488.8	460.4	220.4	80.6	62.7	51.1	44.3	382.1
K24+600	38.2	34.9	28.6	688.6	736.0	441.9	198.9	153.7	124.4	111.7	617.4
K24+800	37.3	34.7	28.5	964.7	1026.1	594.0	225.4	162.5	117.6	98.0	871.7
K25+010	40.1	30.1	28.6	372.7	333.6	168.3	73.8	57.8	46.1	39.5	274.8
K25+205	40.1	34.6	28.5	317.9	296.9	174.7	96.3	76.1	60.3	50.4	251.2
K25+400	39.7	34.8	27.4	392.3	391.5	234.6	123.4	95.5	74.0	62.5	333.1
K25+602	40.1	34.9	28.4	309.5	269.7	129.5	59.6	47.2	38.5	33.5	219.5
K25+800	40.4	34.8	28.8	258.3	245.5	129.7	69.1	55.8	46.0	40.0	201.5
K26+001	40.1	34.8	28.4	342.3	320.6	150.7	66.6	52.9	44.6	39.5	252.7
K26+200	39.6	34.8	28.3	550.8	496.8	264.3	132.9	109.1	92.4	82.9	398.8
K26+403	39.2	34.8	28.3	522.3	460.4	220.4	80.6	62.7	51.1	44.3	382.1
K26+600	38.2	34.9	28.6	736.3	736.0	441.9	198.9	153.7	124.4	111.7	617.4
K26+800	37.3	34.7	28.5	1030.6	1026.1	594.0	225.4	162.5	117.6	98.0	871.7
K27+010	39.2	34.8	28.3	522.3	460.4	220.4	80.6	62.7	51.1	44.3	382.1
K27+200	38.2	34.9	28.6	736.3	736.0	441.9	198.9	153.7	124.4	111.7	617.4
K27+405	37.3	34.7	28.6	1030.6	1026.1	594.0	225.4	162.5	117.6	98.0	871.7

Se procesan los datos de la deflectometría utilizando las diferentes metodologías descritas en el marco teórico, ASSHTO 1993, Lukanen, Federal Highway Administration (FHWA) o Método de HOGG modificado, Yonapave, Washington State Department Of Transportation (WSDOT). De lo cual se muestran los resultados en la siguiente tabla, ver (Tabla 10).

Tabla 10. Módulo resiliente de retrocálculo carril derecho.

Abscisa	Módulo resiliente de retrocálculo (Kg/cm ²)				
	ASTHMO 93	LUKANEN	FHWA	YONOPAVE	WSDOT
K0+000	1732	1491	3251	11111	4067
K0+200	926	528	913	3615	2160
K0+401	1950	1067	2193	8376	3442
K0+600	1041	542	1211	4317	2074

K0+801	1148	729	1463	5089	2228
K1+001	605	393	571	3067	1723
K1+201	1294	786	1890	6148	2353
K1+400	1370	757	1617	6347	2488
K1+605	726	441	943	3367	1445
K1+800	1299	720	1649	5544	2091
K2+000	2774	1374	2270	11667	4974
K2+202	1019	618	1171	4870	2133
K2+398	1187	726	1401	5349	2384
K2+600	1341	817	1130	6396	3468
K2+802	1413	760	878	5952	3610
K3+004	1571	767	1153	5792	3044
K3+200	1207	863	1636	6207	3368
K3+400	972	663	1221	4742	2258
K3+601	2095	964	1423	7712	3775
K3+805	2376	875	1089	6499	3993
K4+020	1042	820	1379	5658	3316
K4+200	1926	903	1497	8055	3535
K4+401	1140	650	1601	5445	2074
K4+602	754	533	1041	4072	2204
K4+801	1861	988	1932	8337	3813
K5+004	1661	737	1297	5854	3118
K5+050	1161	649	1088	4470	2266
K5+103	1993	940	1417	7165	3452
K5+200	2125	1050	1666	8381	3731
K5+401	1331	768	1813	5964	2316
K5+606	807	491	907	3472	1540
K5+802	789	463	849	3356	1469
K6+002	2345	1055	1377	7781	4204
K6+200	1522	972	1845	6602	2483
K6+400	2840	1961	3785	11719	4777
K6+601	1367	794	1339	5425	2543
K6+834	1170	714	1224	4861	2303
K7+000	1277	905	1008	6550	4152
K7+203	3842	2047	4352	14826	7149
K7+400	1691	955	1985	7186	2848
K7+600	1079	778	1305	5242	2400
K7+807	2820	1345	1683	10175	4726
K8+003	905	642	1045	4352	2042
K8+206	838	500	798	3466	1831
K8+408	1574	809	1242	6870	3751
K8+468	857	414	786	3174	1697
K8+601	1711	1010	1721	8014	4209

K8+802	1126	664	1232	4894	2243
K9+000	1321	773	1498	5652	2537
K9+217	1708	1062	2155	7685	3238
K9+400	1079	626	1113	4486	2064
K9+587	1309	699	1413	5281	2731
K9+800	1997	669	840	5230	3651
K10+001	1901	986	1979	7703	3755
K10+217	3389	1493	2935	12120	5249
K10+403	1612	1094	1512	6025	3256
K10+602	2638	1170	1044	9165	4928
K10+806	1941	992	1160	7944	3219
K11+003	2803	1393	1427	11788	5288
K11+201	2440	1209	1306	10106	4372
K11+400	1469	720	672	5244	3007
K11+602	2234	1107	1126	8896	4199
K11+811	1727	837	823	6404	3335
K12+000	1498	722	732	5528	2798
K12+204	2293	1094	1022	8415	4558
K12+406	1669	886	2034	7130	2876
K12+633	3190	1682	3697	13944	5602
K12+801	2013	1086	2466	9230	3625
K13+003	2622	1286	2623	11201	4686
K13+202	2922	1416	3005	13131	4964
K13+403	1708	956	1840	6932	3172
K13+601	1943	938	1583	8277	3555
K13+807	2918	1405	2287	11599	5309
K13+807	2841	1383	2271	11496	5250
K14+054	3575	1646	2628	13826	6414
K14+244	985	561	1130	4951	1930
K14+401	1156	586	898	4420	2523
K14+600	1042	573	1198	4853	1850
K14+832	922	544	985	4040	2016
K15+000	936	587	989	4161	1818
K15+201	2752	1177	1306	10069	4961
K15+402	1219	738	802	6043	3327
K15+602	1399	637	735	5323	2822
K15+803	2105	823	865	6543	3780
K16+002	2175	854	755	5715	4152
K16+202	1512	721	792	5250	3188
K16+401	3652	1619	1761	13295	6916
K16+601	655	393	752	3024	1321
K16+804	1844	855	1132	6486	3686
K17+006	2157	1043	1631	8012	3806

K17+208	689	502	814	3545	1579
K17+433	1258	712	1604	5752	2354
K17+601	3200	1763	4152	13738	5622
K17+810	964	542	1099	4297	2061
K18+010	2411	1098	1866	8800	4513
K18+202	1246	716	1069	4721	2823
K18+405	1473	839	1679	6100	2950
K18+605	658	496	822	3522	1487
K18+803	3694	1743	1883	12793	6655
K19+000	3514	1931	2537	13869	5985
K19+210	1435	790	1089	7201	2626
K19+403	2898	1295	1450	11728	5055
K19+602	1210	744	1368	5427	2506
K19+803	2021	1001	1236	6890	4817
K20+000	1937	1151	2636	9115	3611
K20+203	1508	1285	2934	8732	3139
K20+389	4799	1955	2161	16958	8008
K20+600	1181	705	1453	5389	2101
K20+800	1504	960	2223	7498	2789
K21+000	2479	1388	2589	11074	4674
K21+204	2097	1028	1708	8589	3732
K21+400	2455	1041	1410	8756	4564
K21+602	2080	971	1624	8626	3523
K21+801	1323	856	1845	6357	2379
K22+000	2245	1157	1764	8983	4130
K22+202	1479	817	1695	6161	2848
K22+409	2998	1557	3040	11803	5504
K22+600	2976	1633	3531	12659	5306
K22+801	1244	1001	1950	6373	2661
K23+013	2216	1181	1596	9096	4048
K23+233	1697	1079	2314	7994	3079
K23+411	1311	856	1608	6021	2472
K23+600	2744	1436	2058	11480	4915
K23+806	2387	1424	3347	10997	4134
K24+004	2457	1289	2506	10081	4317
K24+206	1215	707	1583	5517	2076
K24+405	1982	977	1652	7331	3694
K24+600	784	495	777	3398	1497
K24+800	675	406	584	2756	1487
K25+010	2216	1181	1623	9096	4048
K25+205	1433	1079	2314	7994	3079
K25+400	1130	856	1608	6021	2472
K25+602	2744	1436	2058	11480	4915

K25+800	2387	1424	3347	10997	4134
K26+001	2457	1289	2506	10081	4317
K26+200	1215	688	1663	5516	2076
K26+403	1982	947	1736	7222	3694
K26+600	784	482	819	3441	1497
K26+800	675	394	613	2768	1487
K27+010	1982	947	1270	7222	3694
K27+200	784	482	819	3441	1497
K27+405	675	394	613	2768	1487

De la información en las tablas se genera la siguiente grafica en donde podemos observar las tendencias de las diferentes metodologías, ver (figura 42).

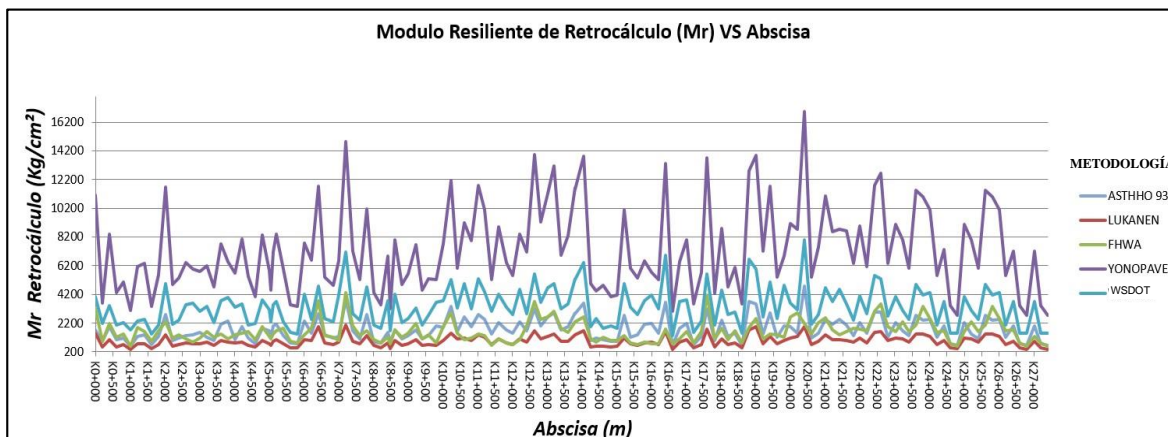


figura 42. Módulo resiliente de retrocálculo.

Fuente: Propia.

4.1.1 Secciones estructurales.

Para el análisis estadístico se utilizaron intervalos de confianza, con un nivel de confianza del 85% debido a la variabilidad de los datos, que dependen de varios factores

como: la humedad, el estado de deterioro de la estructura de pavimento, temperatura, entre otros. Por esta razón se determinaron tramos diferenciados por espesores de la estructura, ver (Tabla 11).

Tabla 11. Secciones estructurales tramos homogéneos carril derecho.

Tramo Homogéneo			Módulo resiliente de retrocálculo (Kg/cm ²)				
#	Abs Inicial	Abs Final	ASTHHO 93	LUKANEN	FHWA	YONOPAVE	WSDOT
1	K00+000	K06+000	1377	769	1406	5943	2780
2	K06+000	K08+000	1940	1124	1922	7843	3666
3	K08+000	K10+217	1480	781	1410	5945	2943
4	K10+217	K14+054	2277	1140	1728	9199	4176
5	K14+054	K18+803	1636	824	1252	6357	3195
6	K18+803	K24+004	2130	1162	2040	9044	3908
7	K24+004	K27+405	1445	818	1470	6161	2717

4.1.2 Resumen.

Se realizó un resumen del análisis estadístico por tramos homogéneos, con un nivel de confianza del 85% para el carril derecho y el carril izquierdo, ver (Tabla 12 y Tabla 13).

Tabla 12. Resumen deflectometría carril derecho.

Tramo Homogéneo		Deflectometría		Módulo resiliente de retrocálculo (Kg/cm ²)				
Abs Inicial	Abs Final	Do (µm)	RC	ASTHHO 93	LUKANEN	FHWA	YONOPAVE	WSDOT
K00+000	K06+000	624	155	1377	769	1406	5943	2780
K06+000	K08+000	413	255	1940	1124	1922	7843	3666
K08+000	K10+217	618	138	1480	781	1410	5945	2943
K10+217	K14+054	422	176	2277	1140	1728	9199	4176
K14+054	K18+803	608	132	1636	824	1252	6357	3195
K18+803	K24+004	372	214	2130	1162	2040	9044	3908
K24+004	K27+405	564	162	1445	818	1470	6161	2717

Tabla 13. Resumen deflectometría carril izquierdo.

Tramo Homogéneo		Deflectometría		Módulo resiliente de retrocálculo (Kg/cm ²)				
Abs Inicial	Abs Final	Do (μm)	RC	ASTHHO 93	LUKANEN	FHWA	YONOPAVE	WSDOT
K00+000	K06+000	694	143	1384	761	1383	5866	2800
K06+000	K08+000	573	151	1489	797	1381	6193	2870
K08+000	K10+217	607	129	1536	786	1256	5926	3133
K10+217	K14+054	661	124	1758	846	1214	6450	3367
K14+054	K18+803	494	170	1595	894	1637	6677	2982
K18+803	K24+004	466	171	1817	977	1814	7280	3458
K24+004	K27+405	464	172	1737	941	1736	6981	3164

5. Resultados del California Bearing Ratio CBR, Popayán – El Tambo.

5.1 Determinación módulo resiliente de la subrasante (M_r) a partir del California Bearing Ratio, Popayán- El Tambo.

Para la determinación del módulo resiliente de la subrasante (M_r), se procedió a organizar los resultados de laboratorio, se determinaron las unidades homogéneas y se procedió a aplicar las distintas fórmulas descritas en este documento para calcular el (M_r) a partir del CBR.

5.1.1 Determinación de los tramos homogéneos CBR Popayán – El Tambo.

Como primera instancia se procedió a organizar los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio para los diferentes apiques realizados a lo largo del tramo Popayán – El Tambo, ver (tabla 13).

Debido a que se pretendió comparar los resultados del módulo resiliente de retrocálculo (M_r), obtenidos a partir de los datos obtenido en campo con el deflectómetro de impacto; con los resultados del módulo resiliente por correlación (M_{r_c}), obtenido a partir de los valores de CBR. Por tal motivo se procedió a determinar los tramos homogéneos en este caso tomando como referencia el valor de CBR.

Se realizaron los cálculos en base al método de las diferencias acumuladas - sugerido por AASHTO 1993, en donde se obtienen los siguientes tramos homogéneos, ver (figura 43), (Tabla 14).

El uso del CBR como parámetro de comparación directa con el Módulo resiliente de la subrasante, y en la cual para los 125 apiques realizados se tienen ensayos tanto en Inmersión como sin inmersión para una misma unidad, con el objetivo de apreciar el comportamiento de los mismo ante los cambios de estado en la subrasante, es decir bajo condiciones de toma normal y bajo condiciones de saturación.

Tabla 14. Resumen resultados CBR Popayán – El Tambo.

Abscisa	CBR (%)		Abscisa	CBR (%)		Abscisa	CBR (%)	
	Natural	Saturado		Natural	Saturado		Natural	Saturado
K00+570	8	5	K09+500	10	6	K19+500	5	2
K00+730	11	7	K10+010	3	2	K19+710	3	2
K01+100	12	10	K10+257	5	1	K20+070	4	3
K01+440	6	2	K10+410	2	1	K20+470	5	4
K01+740	7	4	K10+960	2	1	K20+780	5	4
K02+000	4	3	K11+450	2	2	K21+100	3	2
K02+550	12	9	K11+660	4	3	K21+580	3	2
K02+850	9	4	K12+170	4	3	K21+840	7	5
K03+100	4	2	K12+370	1	1	K22+100	12	6
K03+550	7	5	K12+570	5	3	K22+600	8	3
K03+920	7	2	K13+100	7	3	K22+900	6	3
K04+253	4	2	K13+250	7	3	K23+290	4	1
K04+603	5	2	K13+810	3	1	K23+650	3	2
K05+000	7	5	K14+110	8	4	K23+850	4	3
K05+315	4	3	K14+660	10	4	K24+350	2	1
K05+660	10	4	K15+250	6	2	K24+770	1	1
K06+120	2	1	K15+410	13	3	K25+440	3	2
K06+370	4	2	K15+940	17	4	K25+700	5	2
K06+620	2	1	K16+200	2	1	K26+150	4	1
K07+080	13	4	K16+850	4	2	K26+350	7	5
K07+380	5	2	K17+000	6	2	K26+960	4	2

K07+840	7	5	K17+530	4	1	K27+174	4	2
K08+150	22	10	K17+740	11	2	K27+500	6	4
K08+600	5	3	K18+100	4	1	K27+590	8	5
K08+870	9	6	K18+560	3	2	K27+900	2	1
K09+153	7	6	K18+900	1.1	0.5			

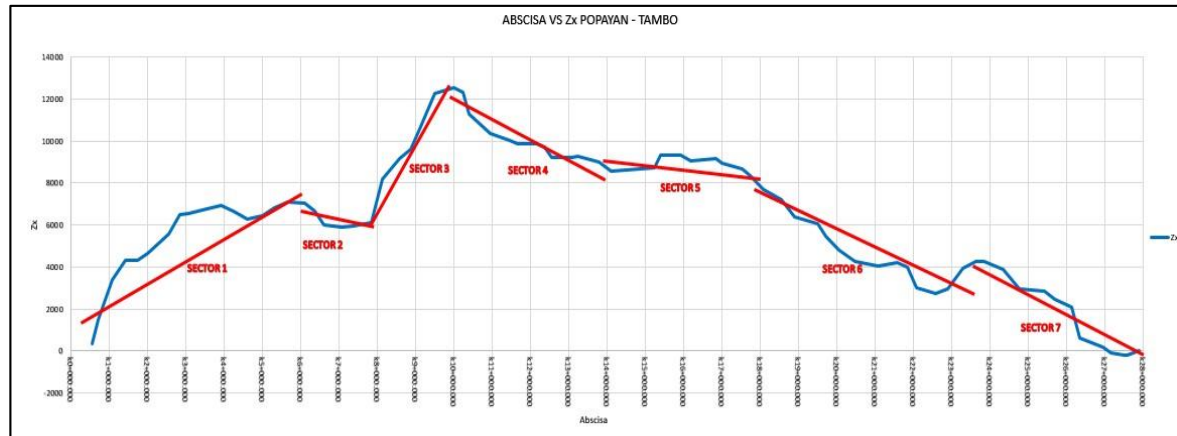


figura 43. Tramos homogéneos CBR tramo Popayán –El Tambo.

Fuente: Propia.

Tabla 15. Tramos homogéneos CBR Popayán – El Tambo.

Tramos Homogéneos CBR Popayán - El Tambo		
#	Abs Inicial	Abs Final
1	K00+000	K6+000
2	K06+000	K8+000
3	K08+000	K10+217
4	K10+217	K14+054
5	K14+054	K18+803
6	K18+803	K24+004
7	K24+004	K27+405

Se coincide con los tramos homogéneos de la deflectometría, lo cual nos ayudara a hacer una comparación más precisa respecto a los resultados del módulo resiliente por tramos arrojados por las diferentes metodologías analizadas en este documento.

5.1.2 Cálculo de módulo resiliente de la subrasante a partir del CBR.

Respecto al cálculo del Mr de la sub - rasante con correlaciones a partir del CBR, se eligieron las siguientes, Heukelom & Foster (1960) y Heukelom & Klomp (1962), Green & Hall (1975), Uzan et al. (1977), Powell et al. (1984), Lister & Powell (1987), Ayres (1997), Reyes (2003), El MOP de Chile (2004), debido a que son los métodos más conocidos y usuales en nuestro medio, ver (Tabla 16), (figura 44).

Tabla 16. Cálculo de módulo resiliente de la subrasante a partir del CBR Popayán – El Tambo.

ABSCISA	Heukelom & Foster (Kg/cm ²)		Green & Hall (Kg/cm ²)		Uzan et al. (Kg/cm ²)		Powell et al. (Kg/cm ²)		Lister & Powell. (Kg/cm ²)		Ayres. (Kg/cm ²)		Reyes. (Kg/cm ²)		El MOP de Chile. (Kg/cm ²)	
	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.
K00+570	898	643	465	330	1142	714	679	503	507	376	827	610	408	255	707	546
K00+730	1126	817	587	422	1570	999	833	624	622	466	1018	759	561	357	843	657
K01+100	1198	1052	626	548	1713	1428	880	783	658	585	1077	957	612	510	884	800
K01+440	732	335	377	169	857	286	565	280	422	209	686	336	306	102	604	330
K01+740	817	549	422	281	999	571	624	436	466	326	759	527	357	204	657	483
K02+000	549	447	281	227	571	428	436	363	326	271	527	437	204	153	483	412
K02+550	1198	976	626	507	1713	1285	880	732	658	547	1077	893	612	459	884	755
K02+850	976	549	507	281	1285	571	732	436	547	326	893	527	459	204	755	483
K03+100	549	335	281	169	571	286	436	280	326	209	527	336	204	102	483	330
K03+550	817	643	422	330	999	714	624	503	466	376	759	610	357	255	657	546
K03+920	817	335	422	169	999	286	624	280	466	209	759	336	357	102	657	330
K04+253	549	335	281	169	571	286	436	280	326	209	527	336	204	102	483	330
K04+603	643	335	330	169	714	286	503	280	376	209	610	336	255	102	546	330
K05+000	817	643	422	330	999	714	624	503	466	376	759	610	357	255	657	546
K05+315	549	447	281	227	571	428	436	363	326	271	527	437	204	153	483	412
K05+660	1052	549	548	281	1428	571	783	436	585	326	957	527	510	204	800	483

K06+120	335	205	169	102	286	143	280	179	209	134	336	214	102	51	330	225
K06+370	549	335	281	169	571	286	436	280	326	209	527	336	204	102	483	330
K06+620	335	205	169	102	286	143	280	179	209	134	336	214	102	51	330	225
K07+080	1268	549	663	281	1856	571	927	436	692	326	1134	527	663	204	924	483
K07+380	643	335	330	169	714	286	503	280	376	209	610	336	255	102	546	330
K07+840	817	643	422	330	999	714	624	503	466	376	759	610	357	255	657	546
K08+150	1843	1052	974	548	3141	1428	1298	783	969	585	1597	957	1122	510	1234	800
K08+600	643	447	330	227	714	428	503	363	376	271	610	437	255	153	546	412
K08+870	976	732	507	377	1285	857	732	565	547	422	893	686	459	306	755	604
K09+153	817	732	422	377	999	857	624	565	466	422	759	686	357	306	657	604
K09+500	1052	732	548	377	1428	857	783	565	585	422	957	686	510	306	800	604
K10+010	447	335	227	169	428	286	363	280	271	209	437	336	153	102	412	330
K10+257	643	205	330	102	714	143	503	179	376	134	610	214	255	51	546	225
K10+410	335	205	169	102	286	143	280	179	209	134	336	214	102	51	330	225
K10+960	335	205	169	102	286	143	280	179	209	134	336	214	102	51	330	225
K11+450	335	335	169	169	286	286	280	280	209	209	336	336	102	102	330	330
K11+660	549	447	281	227	571	428	436	363	326	271	527	437	204	153	483	412
K12+170	549	447	281	227	571	428	436	363	326	271	527	437	204	153	483	412
K12+370	205	205	102	102	143	143	179	179	134	134	214	214	51	51	225	225
K12+570	643	447	330	227	714	428	503	363	376	271	610	437	255	153	546	412
K13+100	817	447	422	227	999	428	624	363	466	271	759	437	357	153	657	412
K13+250	817	447	422	227	999	428	624	363	466	271	759	437	357	153	657	412
K13+810	447	205	227	102	428	143	363	179	271	134	437	214	153	51	412	225
K14+110	898	549	465	281	1142	571	679	436	507	326	827	527	408	204	707	483
K14+660	1052	549	548	281	1428	571	783	436	585	326	957	527	510	204	800	483
K15+250	732	335	377	169	857	286	565	280	422	209	686	336	306	102	604	330
K15+410	1268	447	663	227	1856	428	927	363	692	271	1134	437	663	153	924	412
K15+940	1534	549	807	281	2427	571	1100	436	822	326	1350	527	867	204	1071	483
K16+200	335	205	169	102	286	143	280	179	209	134	336	214	102	51	330	225
K16+850	549	335	281	169	571	286	436	280	326	209	527	336	204	102	483	330
K17+000	732	335	377	169	857	286	565	280	422	209	686	336	306	102	604	330
K17+530	549	205	281	102	571	143	436	179	326	134	527	214	204	51	483	225
K17+740	1126	335	587	169	1570	286	833	280	622	209	1018	336	561	102	843	330
K18+100	549	205	281	102	571	143	436	179	326	134	527	214	204	51	483	225
K18+560	447	335	227	169	428	286	363	280	271	209	437	336	153	102	412	330
K18+900	219	125	109	61	157	71	191	115	143	86	228	136	56	25	237	154
K19+500	643	335	330	169	714	286	503	280	376	209	610	336	255	102	546	330
K19+710	447	335	227	169	428	286	363	280	271	209	437	336	153	102	412	330
K20+070	549	447	281	227	571	428	436	363	326	271	527	437	204	153	483	412
K20+470	643	549	330	281	714	571	503	436	376	326	610	527	255	204	546	483
K20+780	643	549	330	281	714	571	503	436	376	326	610	527	255	204	546	483
K21+100	447	335	227	169	428	286	363	280	271	209	437	336	153	102	412	330
K21+580	447	335	227	169	428	286	363	280	271	209	437	336	153	102	412	330

K21+840	817	643	422	330	999	714	624	503	466	376	759	610	357	255	657	546
K22+100	1198	732	626	377	1713	857	880	565	658	422	1077	686	612	306	884	604
K22+600	898	447	465	227	1142	428	679	363	507	271	827	437	408	153	707	412
K22+900	732	447	377	227	857	428	565	363	422	271	686	437	306	153	604	412
K23+290	549	205	281	102	571	143	436	179	326	134	527	214	204	51	483	225
K23+650	447	335	227	169	428	286	363	280	271	209	437	336	153	102	412	330
K23+850	549	447	281	227	571	428	436	363	326	271	527	437	204	153	483	412
K24+350	335	205	169	102	286	143	280	179	209	134	336	214	102	51	330	225
K24+770	205	205	102	102	143	143	179	179	134	134	214	214	51	51	225	225
K25+440	447	335	227	169	428	286	363	280	271	209	437	336	153	102	412	330
K25+700	643	335	330	169	714	286	503	280	376	209	610	336	255	102	546	330
K26+150	549	205	281	102	571	143	436	179	326	134	527	214	204	51	483	225
K26+350	817	643	422	330	999	714	624	503	466	376	759	610	357	255	657	546
K26+960	549	335	281	169	571	286	436	280	326	209	527	336	204	102	483	330
K27+174	549	335	281	169	571	286	436	280	326	209	527	336	204	102	483	330
K27+500	732	549	377	281	857	571	565	436	422	326	686	527	306	204	604	483
K27+590	898	643	465	330	1142	714	679	503	507	376	827	610	408	255	707	546
K27+900	335	205	169	102	286	143	280	179	209	134	336	214	102	51	330	225

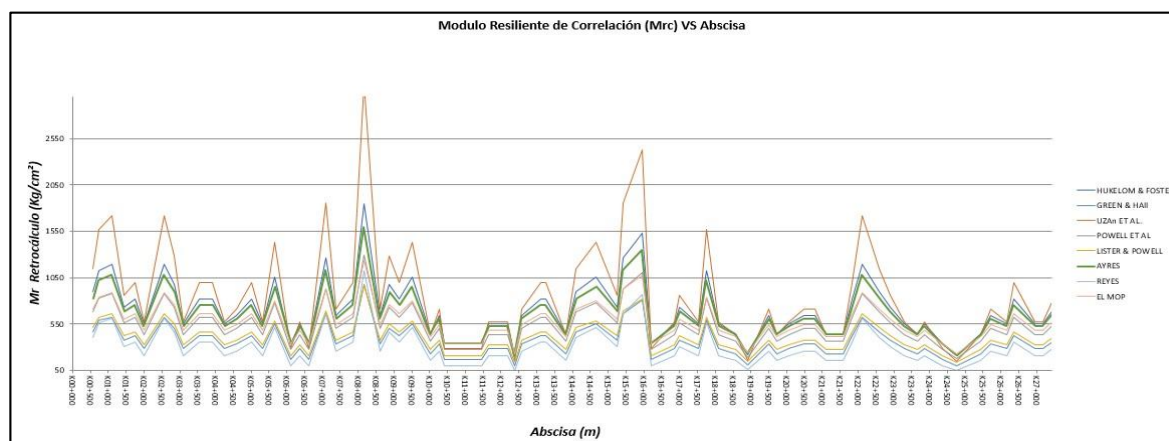


figura 44. Módulo resiliente de la subrasante a partir del CBR Popayán – El Tambo.

Fuente: Propia.

5.1.3 Resumen.

Se realizó un análisis estadístico por cada tramo homogéneo, con un nivel de confianza del 85% donde se obtuvo la siguiente tabla resumen, ver (Tabla 17), (Tabla 18).

Tabla 17. Resumen valores CBR Popayán – El Tambo.

Tramo homogéneo.			CBR (%)	
#	Abs Inicial	Abs Final	Natural.	Saturado.
1	K00+000	K06+000	7.18	4.19
2	K06+000	K08+000	5.18	2.37
3	K08+000	K10+217	8.26	4.64
4	K10+217	K14+054	3.57	2.04
5	K14+054	K18+803	7.08	2.27
6	K18+803	K24+004	4.74	2.76
7	K24+004	K27+405	4.06	2.27

Tabla 18. Resumen módulo resiliente de la subrasante por correlación con el CBR Popayán – El Tambo.

Tramo homogéneo.	Módulo resiliente de la subrasante por correlación con el CBR (Mrc)															
	Heukelom & Foster (Kg/cm ²)		Green & Hall (Kg/cm ²)		Uzan et al. (Kg/cm ²)		Powel et al. (Kg/cm ²)		Lister & Powell. (Kg/cm ²)		Ayres. (Kg/cm ²)		Reyes. (Kg/cm ²)		El MOP de Chile. (Kg/cm ²)	
#	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.	Na.	Sa.
1	819	551	424	282	1025	599	623	435	466	325	759	526	366	214	655	479
2	631	365	325	185	740	339	489	299	365	224	594	360	264	121	528	346
3	885	584	459	300	1179	662	665	457	497	341	810	554	421	236	688	497
4	490	332	251	168	510	291	391	276	292	206	473	331	182	104	437	324
5	794	358	411	181	1011	324	603	295	451	221	734	355	361	116	633	344
6	604	410	310	208	677	394	472	333	353	249	573	402	242	141	514	381
7	538	353	276	179	579	325	426	291	318	217	515	350	207	116	470	338

6. Análisis de resultados.

6.1 Influencia del contenido en agua en el módulo resiliente de la subrasante (Mr).

Para los apiques realizados se tienen ensayos tanto en Inmersión como sin inmersión para una misma unidad, con el objetivo de apreciar el comportamiento de los mismo ante los cambios de estado en la subrasante, es decir bajo condiciones de toma normal y bajo condiciones de saturación. Por tanto, podemos apreciar la influencia del contenido de agua en el módulo resiliente de la subrasante (Mr), para este estudio en particular se apreció una disminución del 60 % del valor del Mr cuando se analizó la muestra en condiciones de saturación, ver (figura 45).

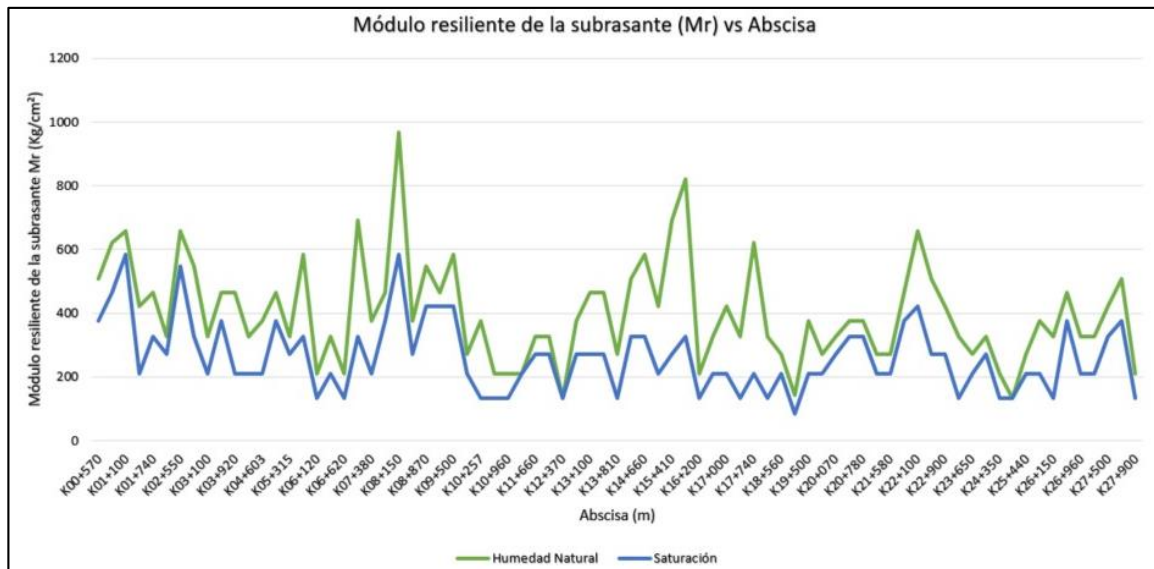


figura 45. Influencia del contenido en agua en el módulo resiliente de la subrasante (Mr)

Fuente: Propia.

Por lo cual podemos inferir que el módulo de resiliencia (M_r) de la subrasante, no es un valor único y que depende de varias condiciones, por lo tanto, podemos sugerir que se tome un rango y no un valor único para el valor del módulo resiliente, y en su medida tomar las condiciones más críticas a las que podría estar sujeto el suelo de fundación de una estructura de pavimento.

6.2 Factor de ajuste entre el módulo resiliente de retrocálculo de la subrasante y el módulo resiliente de la subrasante.

La determinación del factor de ajuste C , para poder correlacionar el valor del módulo resiliente obtenido por retrocálculo con la información del deflectómetro de impacto (M_{rr}) y el módulo resiliente de laboratorio (M_r), es un tema de investigación en varios países (Higuera Carlos, 2009).

$$C = \frac{\text{Modulo Resiliente Deflectometria } (M_{rr})}{M_r \text{ Laboratorio } (M_r)} \quad (53)$$

Ecuación 53 Factor de ajuste entre el módulo resiliente de retrocálculo de la subrasante y el módulo resiliente de la subrasante.

De acuerdo con los antecedentes contenidos en la guía AASHTO 1993, los valores obtenidos mediante el uso del deflectómetro de impacto (M_{rr}) resultan en general más altos que los obtenidos en laboratorio (M_r), por lo que se recomienda el uso de un factor de ajuste (C), con el fin de hacer consistente estos valores con el valor de laboratorio. La AASHTO recomienda utilizar un valor de $C = 0.33$.

Para las demás metodologías se realizó la estimación del factor de ajuste, tomando como referencia del módulo resiliente de laboratorio (M_r), al calculado mediante la expresión recomendada en la guía Mechanistic- Empirical Pavement Design Guide (AASHTO 2015), que guarda correspondencia con la expresión determinada en el laboratorio de Transporte e Investigación de Carreteras del Reino Unido (TRRL), propuesta inicialmente por Powell para ser aplicada en suelos con valores de CBR entre 2% y 12%, que aplica para el estudio en mención.

El factor de ajuste se calculó con una humedad natural, el cual será el valor mínimo del factor de ajuste ya que para este caso se evaluará en condiciones de humedad natural. El valor máximo corresponderá a un factor ajuste teniendo en cuenta la influencia de la humedad para zonas en donde la precipitación media sea alta.

Los cálculos se hicieron con la tabla resumen de la deflectometría del carril derecho y se corroborarán con la tabla resumen del carril izquierdo.

De acuerdo a lo planteado anteriormente, se obtienen los siguientes resultados, ver (Tabla 19).

Tabla 19. Factor de ajuste calculado.

TRAMO	FACTOR DE AJUSTE CALCULADO									
	AASTHO 93		LUKANEN		FHWA		YONOPAVE		WSDOT	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
1	0,34	0,24	0,61	0,42	0,33	0,23	0,08	0,05	0,17	0,12
2	0,19	0,12	0,33	0,20	0,19	0,12	0,05	0,03	0,10	0,06
3	0,34	0,23	0,64	0,44	0,35	0,24	0,08	0,06	0,17	0,12
4	0,13	0,09	0,26	0,18	0,17	0,12	0,03	0,02	0,07	0,05
5	0,28	0,13	0,55	0,27	0,36	0,18	0,07	0,03	0,14	0,07
6	0,17	0,12	0,30	0,21	0,17	0,12	0,04	0,03	0,09	0,06
7	0,22	0,15	0,39	0,27	0,22	0,15	0,05	0,04	0,12	0,08
Prom.	0,24	0,15	0,44	0,28	0,26	0,16	0,06	0,04	0,12	0,08

Con los datos de la anterior tabla, procedemos a calcular el módulo resiliente de la subrasante, utilizando como factores de ajuste los encontrados anteriormente. En donde podemos observar los siguientes resultados, ver (figura 46 y figura 47).

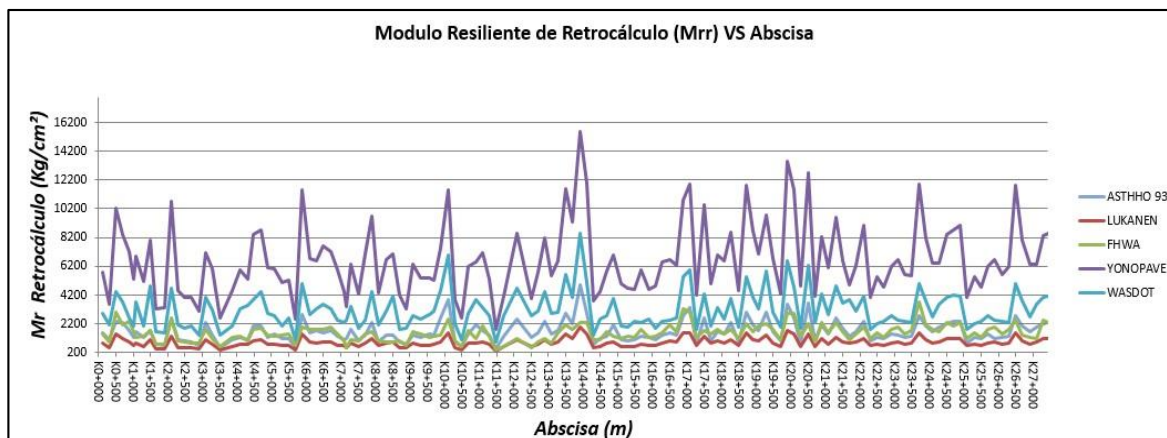


figura 46. Módulo resiliente de retrocálculo (Mrr), carril izquierdo.

Fuente: Propia.

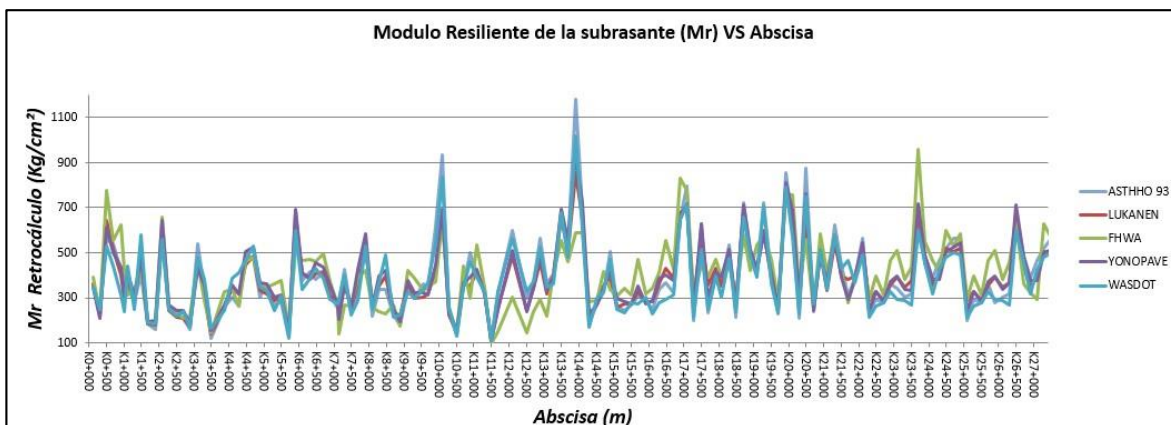


figura 47. Módulo resiliente de la subrasante (Mr), carril izquierdo.

Fuente: Propia.

Se puede observar que para la primera gráfica del módulo resiliente de retrocálculo vs abscisa, ver (figura 46). Los resultados presentan la misma tendencia, pero surgen diferencias en sus resultados. Seguidamente se calculó el factor de ajuste para cada metodología, ver (Tabla 19), posteriormente se calculó el módulo resiliente de la subrasante (Mr), partiendo del módulo resiliente de retrocálculo y el factor de ajuste para cada metodología, se observó cómo al aplicar el factor de ajuste calculado; los resultados de las metodologías presentaron unos resultados y tendencias muy similares, ver (figura 47).

6.3 Correlación entre las diferentes metodologías para calcular el módulo resiliente de la subrasante a partir de los datos de la deflectometría.

De las anteriores gráficas podemos observar que, después de aplicar los factores de corrección calculados anteriormente, las gráficas presentan un comportamiento similar, vamos a estimar el comportamiento de las gráficas evaluando la correlación que presentan los datos arrojados por las diferentes metodologías evaluadas en el presente documento.

Para realizar este análisis estadístico se hace un tipo de prueba correlacional; para establecer la asociación entre los resultados arrojados por las diferentes metodologías analizadas en el presente documento. El tipo de prueba que se realizó fue una regresión simple tomando como variable dependiente los resultados arrojados por el planteamiento de la ASTHOO 93 y como variable independiente los resultados arrojados por: LUKANEN, FHWA, YONOPAVE y WSDOT. Ver (figura 48, figura 49, figura 50 y figura 51).

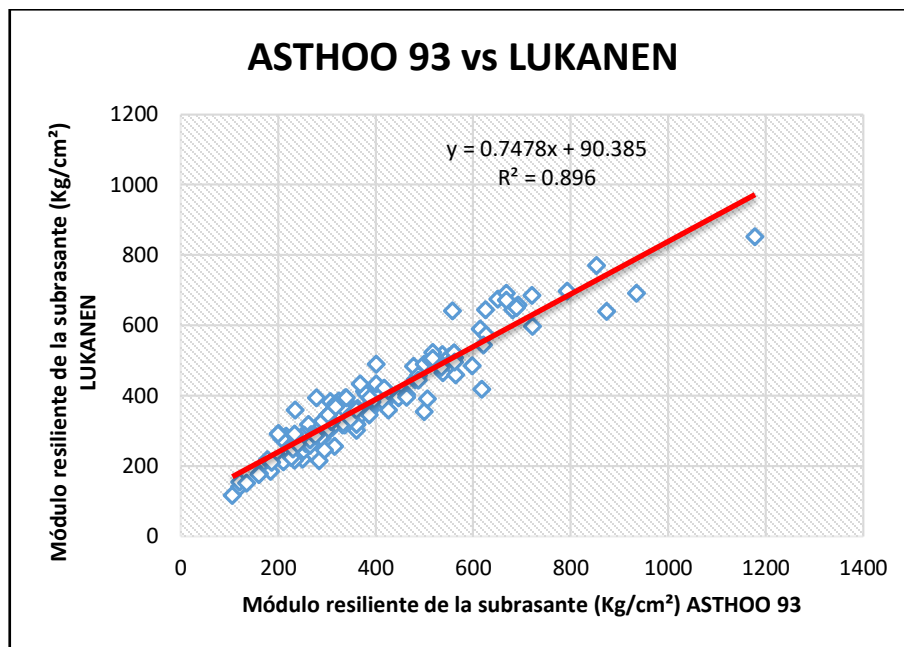


figura 48. Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm²) ASTHOO 93 vs Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm²) LUKANEN

Fuente: Propia.

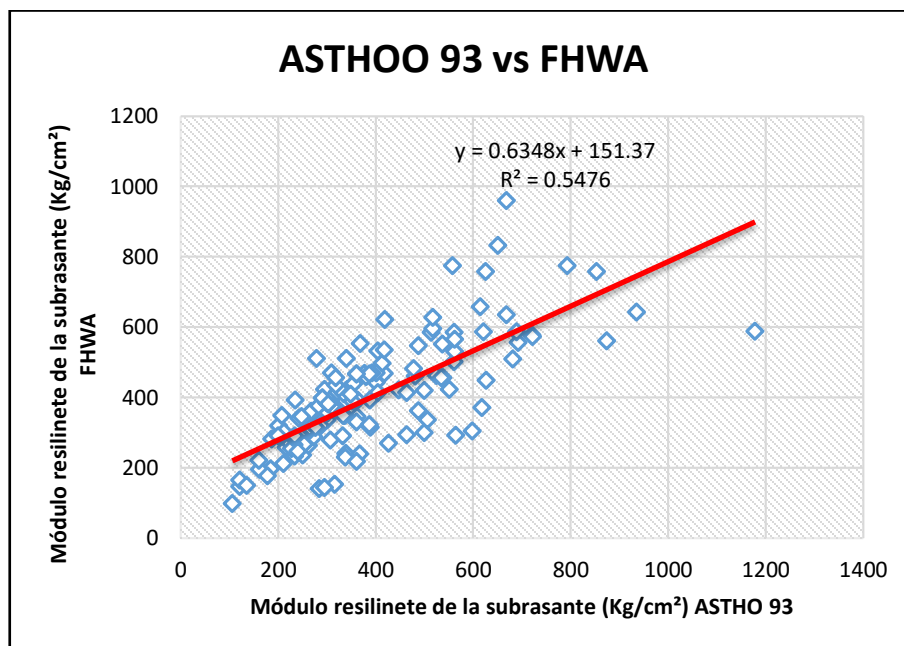


figura 49. Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm²) ASTHOO 93 vs Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm²) FHWA

Fuente: Propia.

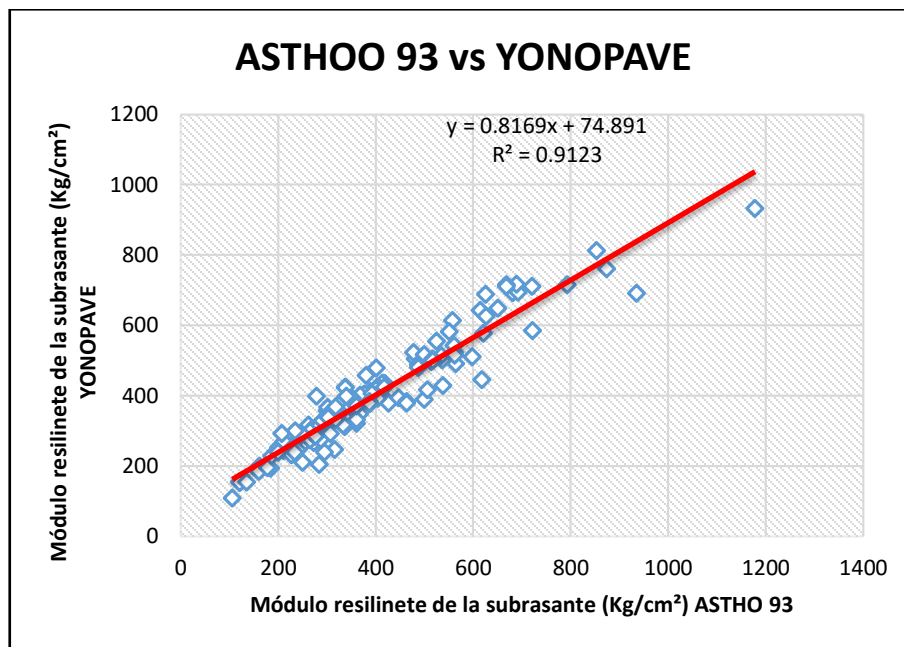


figura 50. Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm²) ASTHOO 93 vs Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm²) YONOPAVE

Fuente: Propia.

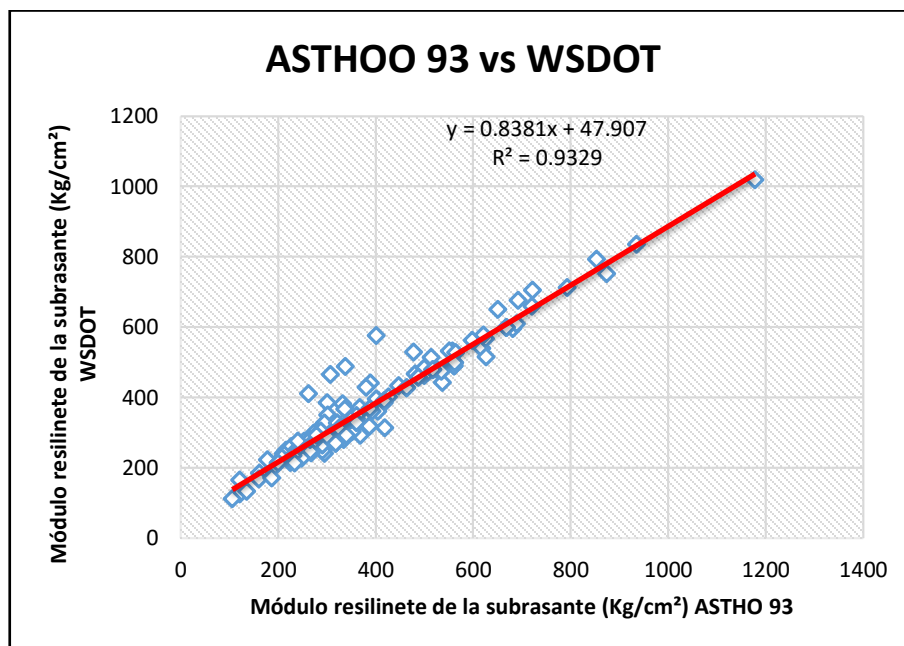


figura 51. Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm²) ASTHOO 93 vs Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm²) WSDOT

Fuente: Propia.

Se analizó la metodología AASTHO 93 con las demás metodologías, ya que esta es la metodología más aceptada a nivel local. Con esto podemos inferir de las anteriores gráficas que:

- La metodología Federal Highway Administration (FHWA) es la que presenta la mayor disparidad respecto a la metodología de las AASTHO 93 con un $r^2 = 0.5476$.
- La metodología que mejor se ajusta a la de la AASTHO 93 es la metodología de Washington State Department of Transportation (WSDOT) con un $r^2 = 0.9329$ seguida de la de YONOPAVE con un $r^2 = 0.9123$
- Tomando en cuenta que las metodologías de WSDOT y YONOPAVE no requieren dimensiones de la estructura del pavimento y que el análisis sugiere que poseen una buena correlación con los datos arrojados por la metodología AASTHO 93. Estas podrían ser utilizadas para realizar un análisis deflectométrico rápido, al no requerir dimensiones de la estructura del pavimento. Lo que conllevaría a que el análisis deflectométrico sea mucho más rápido ahorrando el tiempo de la exploración física para la determinación de las dimensiones de la estructura de pavimento a analizar.

6.4 Correlación entre el módulo resiliente de la subrasante (Mr) obtenido

mediante valores del CBR, con el módulo resiliente de la subrasante (Mr)

obtenido mediante las diferentes metodologías para calcularlo a partir de los datos de la deflectometría.

Para finalizar se analizó el módulo resiliente de la subrasante obtenido en base al CBR, con el módulo resiliente de la subrasante obtenido mediante a la deflectometría. Para ello utilizaremos los tramos homogéneos para los dos casos y excluirémos los datos atípicos, permitiendo evaluar un método destructivo y costoso como lo es el CBR; con un método no destructivo, más económico y mucho más rápido el cual es el deflectómetro de impacto, ver (figura 52).

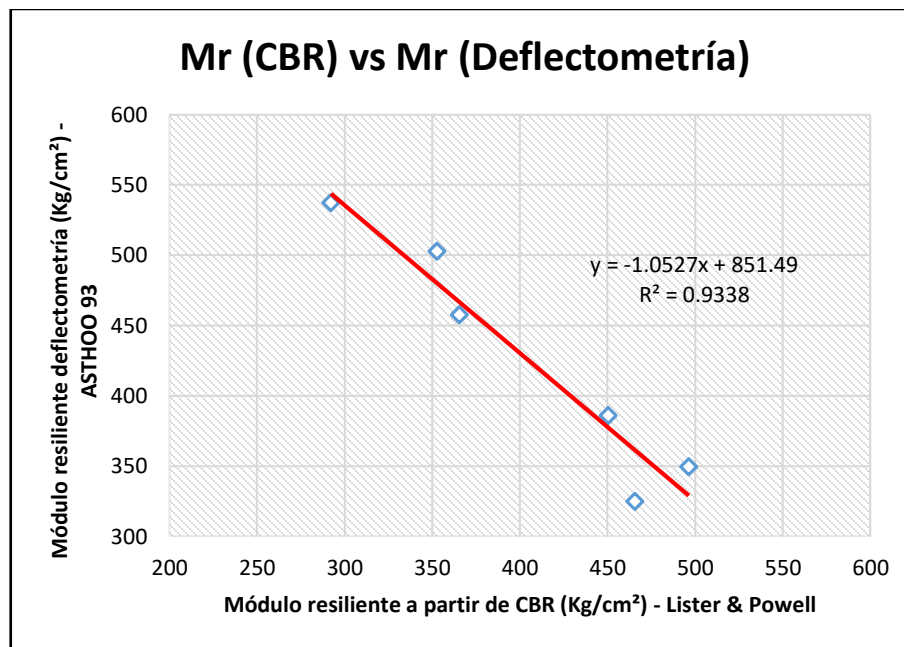


figura 52. Módulo resiliente a partir de CBR (Kg/cm²) - Lister & Powell vs
Módulo resiliente deflectometría (Kg/cm²) - ASTHOO 93

Fuente: Propia.

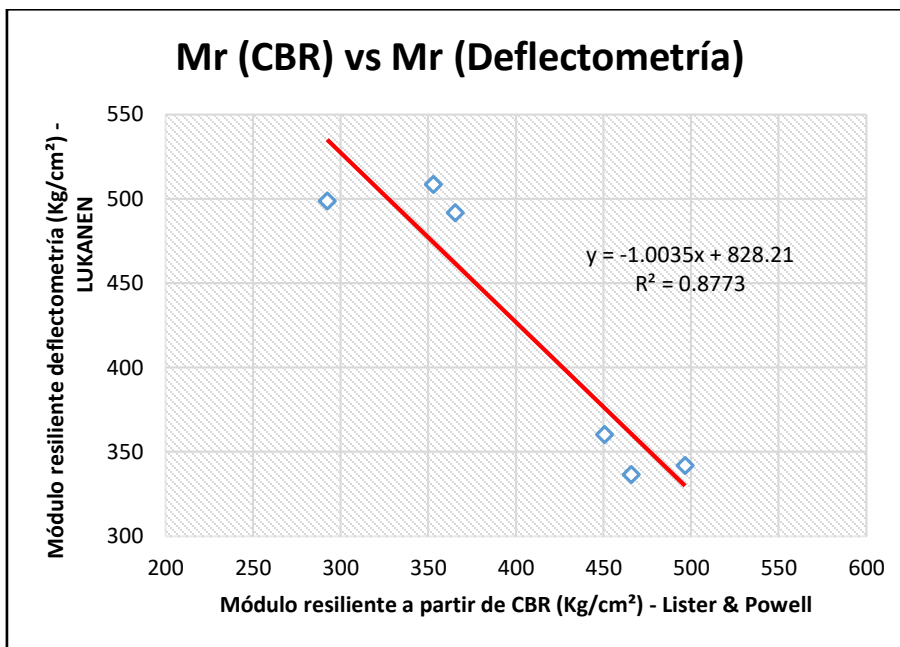


figura 53. Módulo resiliente a partir de CBR (Kg/cm²) - Lister & Powell vs
Módulo resiliente deflectometría (Kg/cm²) - LUKANEN

Fuente: Propia.

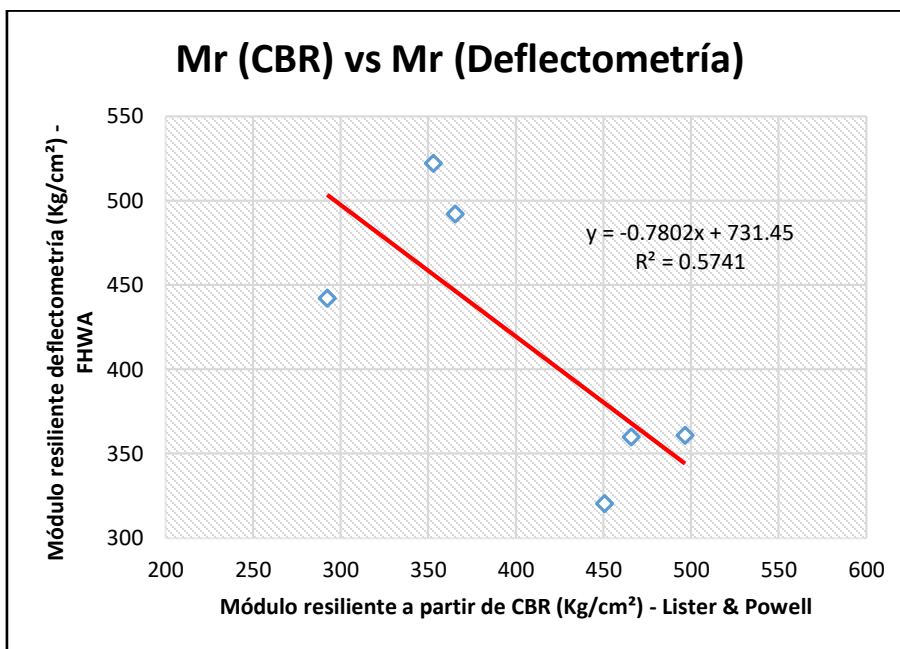


figura 54. Módulo resiliente a partir de CBR (Kg/cm²) - Lister & Powell vs
Módulo resiliente deflectometría (Kg/cm²) - FHWA

Fuente: Propia.

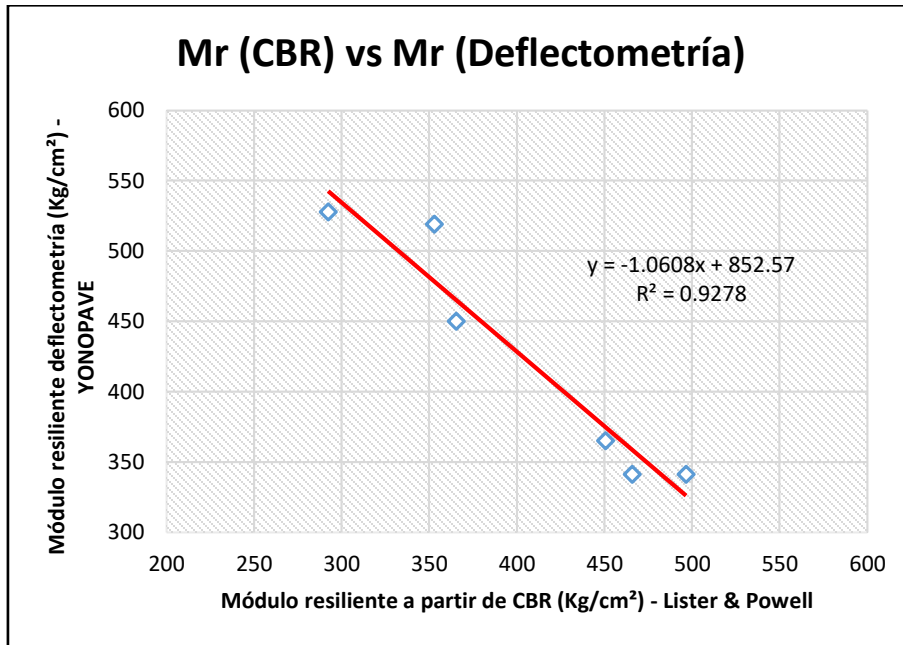


figura 55. Módulo resiliente a partir de CBR (Kg/cm²) - Lister & Powell vs
Módulo resiliente deflectometría (Kg/cm²) - YONOPAVE

Fuente: Propia.

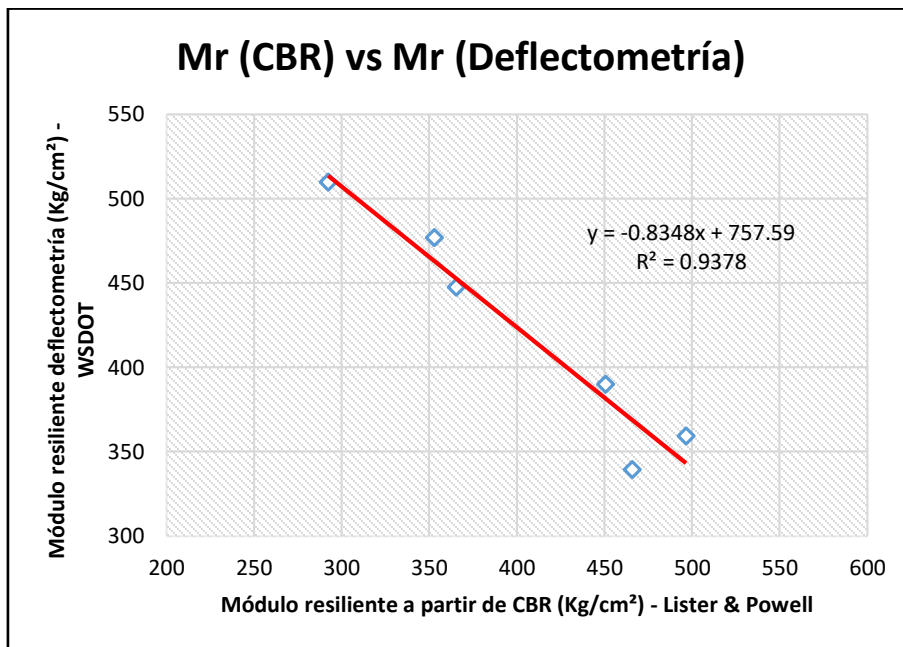


figura 56. Módulo resiliente a partir de CBR (Kg/cm²) - Lister & Powell vs
Módulo resiliente deflectometría (Kg/cm²) - WSDOT

Fuente: Propia.

Del anterior análisis estadístico de tipo correlacional; se pudo establecer la regresión lineal, tomando como variable independiente los valores de módulo resiliente de la subrasante (M_r), calculado a partir de los resultados de la prueba de laboratorio CBR y como variable dependiente el módulo resiliente de la subrasante (M_r), determinado a partir de las deflexiones medidas en campo con el deflectómetro de impacto (FWD), ver (figura 52, figura 53, figura 54, figura 55 y figura 56).

Se pudo evidenciar que el coeficiente de determinación (r^2) es mayor a 0.9 para las metodologías de ASTHOO 93 y WSDOT; lo que nos permite inferir, que en un porcentaje mayor al 90 % el módulo resiliente de la subrasante (M_r), determinado a partir de las deflexiones medidas en campo con el deflectómetro de impacto (FWD), es predicho por el módulo resiliente de la subrasante (M_r), calculado a partir de los resultados de la prueba de laboratorio CBR. Resultados que nos afirman la validez de utilizar el deflectómetro de impacto (FWD), que es un método no destructivo y mucho más rápido para la determinación del módulo resiliente de la subrasante (M_r), de esta manera se reducirían los costos y tiempos para la evaluación estructural del suelo de fundación de una estructura de pavimento.

6.5 Utilización del módulo de resiliencia de la subrasante en los métodos de diseño de pavimentos flexibles.

El módulo de resiliencia de la subrasante (M_r) es la base de caracterización estructural de varias de las metodologías en diseño de pavimentos flexibles. Debido a esto es de suma importancia que la selección del módulo de resiliencia de la subrasante (M_r) se haga con mucho cuidado teniendo en cuenta, las diferentes condiciones a las que puede estar expuesto el suelo de fundación de un pavimento flexible.

6.5.1 Método diseño de pavimentos ASTHOO

El actual método de diseño ASTHOO, describe los procedimientos de diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles. Este diseño está basado principalmente en encontrar el número estructural SN, para que el pavimento flexible pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural SN requerido, el método proporciona la ecuación básica siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_r - 8.07 \quad (54)$$

Ecuación 54. Ecuación de diseño de pavimentos flexibles ASTHOO 93

Donde:

W_{18} = Número esperado de aplicaciones de carga de ejes sencillos equivalentes a 18 kip.

Z_R = Desviación estándar normal.

ΔPSI = Diferencia entre el índice de servicio inicial de diseño (p_0) y el índice de servicio final (p_f).

M_r = Módulo resiliente en (psi).

SN = Número estructural, que indica el espesor total requerido

Dónde: $\text{SN} = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$

a_i = Coeficiente de las capas de pavimento (carpeta, base y sub-base).

D_i = Espesor de la capa en pulgadas (carpeta, base y sub-base).

m_i = Coeficiente de drenaje de las capas de base y sub-base.

Para utilizar el método de las ASTHOO, la propiedad fundamental para caracterizar los suelos de subrasante para diseño de pavimento es el módulo de resiliencia de la subrasante (M_r). Por lo anterior es de vital importancia realizar una adecuada caracterización del suelo de fundación de una estructura de pavimento flexible.

Por lo tanto, el valor apropiado de módulo de resiliencia debiera ser determinado para las condiciones que corresponden a la condición final del suelo y de acuerdo con el nivel de esfuerzo aplicado por un vehículo. Idealmente, este sería el caso. Sin embargo, la determinación del módulo de resiliencia de la forma mencionada anteriormente, no es correcta cuando se utiliza el procedimiento para diseño de pavimentos AASHTO. (Instituto Mexicano de Transporte [IMT], 1998).

6.5.2 Métodos mecanicistas.

Los procedimientos mecanicistas están basados en la suposición de que un pavimento puede ser modelado como una estructura multicapa elástica o viscoelástica sobre una cimentación elástica o viscoelástica. Suponiendo que los pavimentos pueden ser modelados de esta manera, es posible calcular los esfuerzos, deformaciones o deflexiones debidas al tránsito en cualquier punto del pavimento. Sin embargo, se sabe que hay factores que no pueden ser modelados, por lo tanto, es necesario calibrar los modelos con observaciones de campo.

En estos métodos, la caracterización de los materiales que conforman las capas de un pavimento se realiza tomando como propiedad básica al módulo de resiliencia que es una medida de las propiedades elásticas de un suelo, pero tomando en consideración la existencia de características no lineales en su comportamiento, fundamentalmente su dependencia con el nivel de esfuerzos.

En la figura 57 se muestra una sección típica de un pavimento. Cada una de las capas está caracterizada por las propiedades del material que la forman –módulo de resiliencia, relación de Poisson y espesor de la capa. Por lo tanto, si se desea realizar un diseño del pavimento rigurosamente elástico, el módulo a utilizar para cada uno de los materiales que conforman las capas será precisamente el módulo de resiliencia (Instituto Mexicano de Transporte [IMT], 1998).

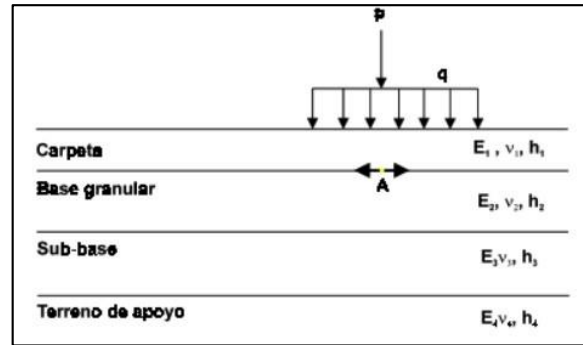


figura 57. Sección típica de un pavimento flexible.

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

Un diseño de pavimentos con un enfoque empírico o mecanicista requiere una caracterización estructural de la subrasante adecuada, obteniendo no un valor sino un rango de módulo resiliente adecuado, tomando como referencia condiciones críticas a las cuales pueda estar expuesta la subrasante, pero siempre evitando hacer estructuras sobredimensionadas.

De aquí la importancia de seguir realizando estudios que nos permitan aproximar condiciones reales de funcionamiento, para los métodos de diseño mecanicistas, porque si bien se han desarrollado modelos en los cuales simulamos el funcionamiento de una estructura de pavimento bajo cargas de servicio, es complicado simular las diferentes condiciones a las cuales puede estar expuesta una estructura de pavimento. Con los últimos avances de Deep Learning aprendizaje profundo, los pasos de extracción de características y modelización son automáticos, lo cual nos podría traer muchas ventajas para el entrenamiento de un modelo en redes neuronales que nos permita asociar variables cuantitativas y cualitativas en el diseño de pavimentos flexibles.

7. Conclusiones y recomendaciones.

7.1 Conclusiones.

1. A través de los resultados y estadísticas obtenidos se concluye que los modelos matemáticos más adecuados para la caracterización de la subrasante son los de WSDOT y YONOPAVE. Una ventaja de estos métodos respecto a ASTHOO 93 es que no se necesita los espesores de las capas, y por ende no se necesita realizar procesos destructivos como las calicatas para obtener el espesor de la estructura de pavimento.
2. En la actualidad, el estudio de modelos matemáticos basados en análisis inverso para realizar una adecuada caracterización estructural del suelo de fundación de una estructura de pavimento sometida principalmente a las cargas de tránsito debe ser indagado con más detalle, ya que, si bien la metodología ASTHOO 93 es ampliamente utilizada en Colombia, esto no quiere decir que sea la más viable.
3. Es necesario conocer que el contenido de humedad de la subrasante en donde se vaya a analizar el módulo resiliente (M_r), ya que este factor incide en los resultados esperados, por tanto, es necesario poder conocer datos climáticos a los que haya estado expuesta la estructura de pavimento a analizar, de donde se podría realizar ajustes para cada época del año.
4. El módulo resiliente (M_r) depende del estado de esfuerzos a la que esté sometida la sub-rasante por tal motivo es necesario cuantificar estos, ya que el esfuerzo

desviador es un factor que tiene influencia directa con el comportamiento estructural de la subrasante.

5. El valor del factor de ajuste (c) para la determinación del módulo reciente de la subrasante (M_r), a partir del módulo resiliente de retrocálculo (M_{rr}), depende de la metodología a utilizar, se debe seguir investigando el valor de estos valores de ajuste para cada metodología, ya que en Colombia debido a la poca investigación en este campo se utilizan los factores de ajuste encontrados en estudios empíricos en otros países (con condiciones distintas de tránsito, clima, materiales y suelos).
6. Es importante que el cálculo del factor de ajuste mediante pruebas de laboratorio se haga con ensayo triaxial, clasificación de suelos y en conjunto un análisis deflectométrico por cada punto de ensayo, para de esta forma poder determinar un factor de ajuste representativo para los suelos tropicales en nuestra región.
7. Para la obtención del módulo resiliente de la subrasante (M_r) se sugiere utilizar la metodología desarrollada por la AASTHO 93, analizando la deflexión central y el espesor de la estructura, YONOPAVE, analizando el área del cuenco de deflexiones junto con la longitud característica y WSDOT que tiene en cuenta la deflexión hasta los 120 cm medidos desde el centro del plato de carga.
8. La correlación entre el módulo resiliente de la subrasante (M_r) obtenido a partir de la deflectometría, con el (M_r) obtenido a partir de los índices CBR, tiene un $r^2 > 0.90$, lo que nos afirma la validez de un estudio deflectométrico a la hora de evaluar estructuralmente una subrasante en condiciones de servicio.

9. Utilizar un análisis deflectométrico el cual es un método no destructivo y rápido, genera muchas ventajas respecto al CBR para la obtención del módulo resiliente de la subrasante. Reduciendo costos y tiempo en la obtención de este parámetro de la subrasante.
10. Se debe seguir investigando en las metodologías para la obtención de parámetros estructurales para la base granular y la carpeta asfáltica, ya que hay varios programas de elementos finitos que calculan dichos parámetros, pero estos están sujetos a condiciones ideales del pavimento; condiciones que un pavimento en servicio no experimenta. De ahí la importancia para seguir investigando este tema, que permita que la deflectometría sea un método eficaz y certero a la hora de evaluar estructuralmente un pavimento. Que en resumidas cuentas debido a la economía y rapidez de la deflectometría nos podrían ayudar a tomar mejores decisiones para conservar la red vial en Colombia.

7.2 Recomendaciones.

1. La determinación de las deflexiones con el deflectómetro de impacto (FWD), se deben hacer preferiblemente en un horario en donde no haya vibraciones cercanas producidas por vehículos pesados, ya que los ruidos generados por estas vibraciones afectan la lectura de los geófonos, alterando los valores de deflexión medida en campo.
2. Se debe tener condiciones homogéneas en los puntos en donde se aplique la carga para la lectura de los geófonos, ya que condiciones como grietas, piel de cocodrilo, entre otras, afectan la transmisión de las ondas desde el centro de

- aplicación de las cargas hasta el geófono, afectando el valor de deflexión que depende del valor de aceleración leído por el geófono.
3. Se deben realizar investigaciones para desarrollar prototipos de deflectómetro de impacto en Colombia, ya que el costo de estos instrumentos limita su uso en Colombia.
 4. Se debe continuar investigando el comportamiento estructural de un pavimento en relación al tipo de tránsito, clima, materiales y suelos.
 5. Para el análisis del comportamiento estructural de una subrasante en vías de afirmado se debe contemplar el uso del deflectómetro de impacto liviano, con el fin de desarrollar nuevas tecnologías que mejoren el comportamiento estructural del afirmado, teniendo en cuenta que la red terciaria de Colombia en su mayoría está en afirmado.
 6. Debido a la gran cantidad de datos generados en la deflectometría se debería a comenzar a entrenar modelos de redes neuronales, modelos que podrían predecir las condiciones estructurales de un pavimento a partir de los datos recolectados en campo con el deflectómetro de impacto (FWD).

8. Anexo

8.1 Estudio deflectometría Popayán – El Tambo.

Se presentan a continuación las tablas correspondientes a los estudios deflectométricos para el tramo Popayán – El Tambo.

8.1.1 Carril Derecho.

8.1.1.1 Chequeo temperatura del aire y pavimento Popayán – El Tambo, carril derecho.

En la siguiente tabla se presentan los valores de temperatura en °C para el pavimento y el aire, se chequea que la temperatura del pavimento sea menor a 35 °C, como también que la temperatura del pavimento no sea mayor que la temperatura del aire, chequeo necesario para hacer valido cada punto de estudio, ver (Tabla anexo 1).

Tabla anexo 1. Chequeo Temperatura, Popayán – El Tambo, Carril Derecho.

Punto	Abscisa	T°c Pav	T°c Aire	Chequeo T°c Pav >= T°c Aire	Chequeo T°c Pav <= 35 °C
1	K0+000	19	12	OK	OK
2	K0+200	18	13	OK	OK
3	K0+401	18	13	OK	OK
4	K0+600	19	13	OK	OK
5	K0+801	19	14	OK	OK
6	K1+001	19	14	OK	OK
7	K1+201	19	15	OK	OK

8	K1+400	19	14	OK	OK
9	K1+605	19	14	OK	OK
10	K1+800	19	15	OK	OK
11	K2+000	18	15	OK	OK
12	K2+202	18	15	OK	OK
13	K2+398	20	15	OK	OK
14	K2+600	18	15	OK	OK
15	K2+802	19	15	OK	OK
16	K3+004	19	15	OK	OK
17	K3+200	20	16	OK	OK
18	K3+400	20	16	OK	OK
19	K3+601	21	16	OK	OK
20	K3+805	20	16	OK	OK
21	K4+020	21	16	OK	OK
22	K4+200	21	16	OK	OK
23	K4+401	21	16	OK	OK
24	K4+602	22	16	OK	OK
25	K4+801	21	16	OK	OK
26	K5+004	22	17	OK	OK
27	K5+050	27	25	OK	OK
28	K5+103	25	25	OK	OK
29	K5+200	26	26	OK	OK
30	K5+401	26	25	OK	OK
31	K5+606	24	24	OK	OK
32	K5+802	24	24	OK	OK
33	K6+002	26	24	OK	OK
34	K6+200	24	24	OK	OK
35	K6+400	24	24	OK	OK
36	K6+601	26	23	OK	OK
37	K6+834	27	23	OK	OK
38	K7+000	27	23	OK	OK
39	K7+203	27	23	OK	OK
40	K7+400	29	23	OK	OK
41	K7+600	29	23	OK	OK
42	K7+807	22	22	OK	OK
43	K8+003	28	22	OK	OK
44	K8+206	24	23	OK	OK
45	K8+408	30	22	OK	OK
46	K8+468	29	23	OK	OK
47	K8+601	31	23	OK	OK
48	K8+802	29	22	OK	OK
49	K9+000	31	23	OK	OK
50	K9+217	31	23	OK	OK

51	K9+400	31	23	OK	OK
52	K9+587	28	22	OK	OK
53	K9+800	31	22	OK	OK
54	K10+001	32	22	OK	OK
55	K10+217	31	22	OK	OK
56	K10+403	30	22	OK	OK
57	K10+602	33	23	OK	OK
58	K10+806	33	23	OK	OK
59	K11+003	25	23	OK	OK
60	K11+201	33	23	OK	OK
61	K11+400	26	23	OK	OK
62	K11+602	33	22	OK	OK
63	K11+811	30	23	OK	OK
64	K12+000	29	22	OK	OK
65	K12+204	29	22	OK	OK
66	K12+406	29	23	OK	OK
67	K12+633	26	22	OK	OK
68	K12+801	27	22	OK	OK
69	K13+003	30	22	OK	OK
70	K13+202	31	23	OK	OK
71	K13+403	29	23	OK	OK
72	K13+601	28	23	OK	OK
73	K13+807	29	23	OK	OK
74	K13+807	28	23	OK	OK
75	K14+054	31	23	OK	OK
76	K14+244	28	23	OK	OK
77	K14+401	24	23	OK	OK
78	K14+600	32	23	OK	OK
79	K14+832	35	23	OK	OK
80	K15+000	35	24	OK	OK
81	K15+201	32	24	OK	OK
82	K15+402	29	24	OK	OK
83	K15+602	33	23	OK	OK
84	K15+803	32	24	OK	OK
85	K16+002	32	23	OK	OK
86	K16+202	33	23	OK	OK
87	K16+401	33	24	OK	OK
88	K16+601	30	23	OK	OK
89	K16+804	31	24	OK	OK
90	K17+006	34	23	OK	OK
91	K17+208	32	24	OK	OK
92	K17+433	25	24	OK	OK
93	K17+601	35	24	OK	OK

94	K17+810	32	23	OK	OK
95	K18+010	32	24	OK	OK
96	K18+202	33	23	OK	OK
97	K18+405	32	25	OK	OK
98	K18+605	34	25	OK	OK
99	K18+803	33	25	OK	OK
100	K19+000	32	24	OK	OK
101	K19+210	25	25	OK	OK
102	K19+403	34	25	OK	OK
103	K19+602	32	25	OK	OK
104	K19+803	34	25	OK	OK
105	K20+000	34	27	OK	OK
106	K20+203	34	28	OK	OK
107	K20+389	29	29	OK	OK
108	K20+600	32	28	OK	OK
109	K20+800	32	27	OK	OK
110	K21+000	31	28	OK	OK
111	K21+204	35	29	OK	OK
112	K21+400	31	28	OK	OK
113	K21+602	34	29	OK	OK
114	K21+801	34	28	OK	OK
115	K22+000	35	28	OK	OK
116	K22+202	35	28	OK	OK
117	K22+409	28	28	OK	OK
118	K22+600	35	28	OK	OK
119	K22+801	35	28	OK	OK
120	K23+013	30	29	OK	OK
121	K23+233	35	28	OK	OK
122	K23+411	35	27	OK	OK
123	K23+600	35	28	OK	OK
124	K23+806	35	29	OK	OK
125	K24+004	35	28	OK	OK
126	K24+206	35	28	OK	OK
127	K24+405	35	28	OK	OK
128	K24+600	35	29	OK	OK
129	K24+800	35	28	OK	OK
130	K25+010	30	29	OK	OK
131	K25+205	35	28	OK	OK
132	K25+400	35	27	OK	OK
133	K25+602	35	28	OK	OK
134	K25+800	35	29	OK	OK
135	K26+001	35	28	OK	OK
136	K26+200	35	28	OK	OK

137	K26+403	35	28	OK	OK
138	K26+600	35	29	OK	OK
139	K26+800	35	28	OK	OK
140	K27+010	35	28	OK	OK
141	K27+200	35	29	OK	OK
142	K27+405	35	29	OK	OK

8.1.1.2 Datos deflectometría, Popayán – El Tambo, carril derecho.

Se presentan los datos de las deflexiones para las diferentes distancias del centro de carga (-20 cm, 0 cm, 20 cm, 30 cm, 60 cm, 90 cm, 120 cm, 150 cm), como también su posterior corrección por carga aplicada y por temperatura del pavimento, ver (Tabla anexo 2).

Tabla anexo 2. Datos deflectometría, Popayán – El Tambo, carril derecho.

Punto	ABSCISA	Datos Obtenidos en Campo											Corrección por Carga y Temperatura								
		Carga	Temperatura		Deflexiones Medidas (µm)									Deflexiones Corregidas (µm)							
			Pav.	Aire	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d _{0c}	d _{1c}	d _{2c}	d _{3c}	d _{4c}	d _{5c}	d _{6c}	d _{7c}	
No.	(m)	kN	°C	°C	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm	-20 cm	20 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm	-20 cm	20 cm	
1	K0+000	40.2	18.7	12.2	211	124	70	56	47	42	163	176	210	124	69	56	47	42	162	175	
2	K0+200	38.7	17.7	12.8	820	441	165	108	79	69	680	690	849	457	170	112	82	71	703	714	
3	K0+401	40.5	18.2	13.2	378	178	86	68	56	48	261	297	373	176	85	67	55	48	257	293	
4	K0+600	38.5	18.7	13.3	701	346	145	117	77	76	534	555	729	360	151	121	80	79	555	577	
5	K0+801	41.4	18.6	13.6	491	305	147	109	86	77	397	432	474	294	142	105	83	75	383	417	
6	K1+001	37.7	18.7	13.9	1040	479	177	129	100	86	738	832	1105	508	188	136	106	91	783	883	
7	K1+201	39.9	19.3	14.9	396	230	126	99	79	68	312	347	396	230	126	99	79	68	312	347	
8	K1+400	39.1	19.2	14.4	444	221	114	90	74	67	316	371	453	226	117	92	76	69	323	379	
9	K1+605	39.1	18.7	14.2	702	427	214	164	118	98	548	629	719	437	219	168	120	101	561	644	
10	K1+800	39.5	18.7	15.2	382	244	141	111	87	74	311	330	387	248	143	112	88	75	315	335	
11	K2+000	40.1	17.8	14.7	284	118	59	47	38	34	176	205	284	118	59	47	38	34	176	205	
12	K2+202	39.1	18.3	15.2	538	290	153	110	81	69	396	454	551	297	156	113	83	70	406	465	
13	K2+398	38.8	20.3	15.4	510	274	129	96	74	64	371	426	526	283	133	99	76	65	383	440	

14	K2+600	38.7	18.1	15.3	516	227	88	65	52	47	347	402	534	235	91	67	54	49	360	416
15	K2+802	38.7	19.2	15.4	668	216	78	61	52	46	370	456	692	223	81	63	54	48	382	472
16	K3+004	39.0	19.1	15.3	530	269	99	75	59	58	375	440	544	277	101	77	61	60	385	452
17	K3+200	38.9	20.3	16.1	532	256	96	69	52	47	379	447	547	263	99	71	54	49	390	459
18	K3+400	39.2	19.9	15.9	514	323	141	103	78	68	419	467	524	329	144	105	80	69	427	476
19	K3+601	39.8	20.7	16.2	535	191	77	61	50	43	340	395	539	192	77	61	50	44	342	398
20	K3+805	38.4	20.1	15.9	646	239	63	55	46	41	418	523	674	249	66	57	48	43	436	545
21	K4+020	38.6	20.5	16.3	588	291	94	68	55	48	434	482	609	302	98	70	57	50	450	500
22	K4+200	39.0	21.2	16.0	557	161	71	62	54	47	328	427	572	165	73	64	55	49	337	438
23	K4+401	38.0	20.6	16.3	541	253	129	104	87	78	371	441	569	267	136	110	92	82	390	465
24	K4+602	37.2	21.5	16.5	827	375	134	100	77	68	641	708	888	403	144	107	83	73	689	761
25	K4+801	39.0	21.3	16.4	487	166	75	59	49	42	283	351	500	171	77	60	50	44	290	361
26	K5+004	38.2	21.7	16.9	699	250	89	69	59	53	431	645	732	262	94	73	62	56	452	676
27	K5+050	39.6	27.2	25.3	747	368	138	101	82	72	567	649	754	371	139	102	83	73	572	655
28	K5+103	40.5	24.8	24.8	580	221	84	67	57	47	383	454	573	218	83	66	56	46	379	449
29	K5+200	40.8	25.8	25.5	509	180	80	63	52	46	296	343	498	176	78	62	51	45	290	336
30	K5+401	40.4	26.3	24.6	570	251	125	98	85	75	400	461	564	249	124	97	84	75	396	456
31	K5+606	40.0	24.4	24.3	851	444	202	150	120	103	658	738	851	444	202	150	120	103	659	738
32	K5+802	39.4	24.2	24.2	860	455	200	156	122	107	655	764	874	463	204	159	124	108	666	776
33	K6+002	40.3	26.1	23.9	570	205	71	55	46	41	375	431	565	204	70	54	46	40	372	427
34	K6+200	41.9	24.5	24.4	385	223	118	96	81	75	276	312	367	212	112	92	77	72	263	298
35	K6+400	42.3	23.8	23.8	168	105	64	52	41	35	131	144	159	99	61	49	39	33	124	136
36	K6+601	40.4	25.9	23.2	556	298	122	94	73	63	430	474	550	295	121	93	72	62	426	469
37	K6+834	40.4	26.9	23.2	616	326	142	105	78	66	485	530	610	322	141	104	77	65	481	525
38	K7+000	38.7	27.3	22.8	690	239	71	54	44	39	475	533	714	247	73	56	46	40	491	551
39	K7+203	41.5	26.9	22.9	254	111	46	36	26	20	176	196	245	107	44	34	25	19	170	189
40	K7+400	40.5	28.9	23.2	461	215	99	81	68	60	329	380	455	213	98	80	67	60	326	375
41	K7+600	39.8	29.0	22.9	520	284	138	100	74	61	386	436	522	285	138	100	74	62	388	438
42	K7+807	41.1	22.2	22.2	393	157	61	49	43	37	244	319	383	153	59	48	42	36	237	311
43	K8+003	39.2	27.5	22.1	615	344	158	116	85	72	477	528	627	350	162	118	87	74	487	539
44	K8+206	38.3	24.2	23.1	824	449	178	127	91	77	657	703	862	470	186	133	95	81	687	735
45	K8+408	38.7	30.3	22.1	586	205	97	78	30	30	364	437	606	212	100	81	32	31	376	452
46	K8+468	37.2	29.1	23.4	1163	493	165	128	101	94	793	924	1251	530	177	138	108	101	853	994
47	K8+601	38.9	30.5	23.1	593	181	68	53	45	43	372	464	610	186	70	54	46	44	383	477
48	K8+802	38.9	29.0	22.5	636	311	137	105	77	70	468	533	654	320	141	108	79	72	481	548
49	K9+000	39.4	31.0	22.7	589	269	120	91	72	62	400	473	598	274	122	92	73	63	406	481
50	K9+217	40.3	31.3	22.8	412	192	97	73	57	49	285	330	409	191	96	73	57	49	283	328
51	K9+400	39.0	30.8	23.1	712	343	144	109	88	77	504	597	730	352	147	112	90	79	517	612
52	K9+587	38.3	28.5	22.5	695	293	114	83	64	56	465	569	726	306	119	87	67	58	485	594
53	K9+800	37.1	30.5	22.3	1124	202	70	58	49	44	524	891	1213	218	76	63	53	47	565	962
54	K10+001	38.9	31.8	21.9	536	195	81	61	48	42	332	429	551	200	84	62	50	44	342	441
55	K10+217	40.3	31.1	21.9	383	125	49	42	39	31	221	283	380	124	48	42	38	31	220	282
56	K10+403	40.5	30.1	22.5	382	230	104	74	56	49	309	328	377	227	102	73	56	48	305	325

57	K10+602	38.9	32.6	23.4	527	161	58	45	38	34	295	380	542	165	60	47	39	34	304	391
58	K10+806	39.9	33.1	22.8	504	191	84	70	60	53	305	385	505	191	84	70	60	53	305	386
59	K11+003	39.3	25.4	23.3	358	118	56	43	35	30	204	259	365	120	57	44	35	31	208	264
60	K11+201	39.4	33.4	22.8	437	142	65	53	42	38	253	324	444	145	66	53	43	38	257	329
61	K11+400	38.2	25.6	22.7	721	304	101	74	60	52	501	569	755	318	106	77	62	54	525	596
62	K11+602	39.5	33.0	22.4	513	165	71	55	44	37	310	377	519	167	72	56	44	38	313	381
63	K11+811	39.2	30.0	23.1	660	246	91	70	54	45	412	502	674	251	93	71	55	46	420	513
64	K12+000	38.3	28.6	22.4	697	287	100	79	65	56	473	579	727	299	104	83	67	58	494	604
65	K12+204	38.8	28.8	22.3	513	182	67	50	40	34	316	412	529	188	69	52	41	35	325	424
66	K12+406	39.1	28.6	22.7	498	211	93	76	66	59	337	407	510	216	95	78	68	60	345	417
67	K12+633	40.7	25.9	22.2	287	104	53	42	34	31	177	222	282	102	52	41	34	31	174	218
68	K12+801	40.1	27.3	21.8	426	153	82	65	51	44	221	295	425	152	81	65	51	44	221	294
69	K13+003	39.0	29.8	22.3	392	124	59	48	40	35	208	254	402	127	61	49	41	36	213	260
70	K13+202	39.3	31.1	23.3	352	97	54	45	38	34	177	240	359	99	55	46	39	35	180	245
71	K13+403	40.2	29.3	23.0	503	231	97	74	59	50	367	423	500	230	96	74	59	50	365	421
72	K13+601	38.9	28.4	23.2	541	162	80	64	52	45	289	378	556	167	82	65	53	46	297	389
73	K13+807	40.1	28.7	22.9	399	123	56	44	36	31	222	277	398	123	56	44	36	31	222	276
74	K13+807	39.6	28.2	22.6	390	124	56	44	36	31	220	279	393	125	57	44	36	31	223	282
75	K14+054	40.0	30.6	22.9	355	100	46	37	29	25	184	239	355	99	46	37	29	25	184	238
76	K14+244	37.6	28.3	22.9	707	270	147	115	89	86	440	592	752	287	156	122	94	92	468	629
77	K14+401	37.4	24.1	22.8	832	344	123	87	69	60	555	689	891	368	132	93	73	64	594	738
78	K14+600	38.4	32.4	23.3	733	287	144	120	97	82	468	570	764	299	150	125	101	86	488	594
79	K14+832	37.4	34.6	23.2	837	367	154	110	83	70	566	712	896	393	165	118	89	75	606	762
80	K15+000	38.2	34.6	24.0	675	343	159	122	97	84	503	582	708	360	166	128	101	88	528	610
81	K15+201	38.7	31.8	23.6	505	131	55	45	37	33	313	392	523	136	57	47	38	34	324	405
82	K15+402	37.4	29.3	23.7	717	234	85	66	52	44	426	566	766	250	90	71	56	47	455	605
83	K15+602	37.1	33.3	23.2	796	265	100	79	59	49	488	639	858	285	108	85	64	53	527	689
84	K15+803	37.9	32.2	23.8	698	225	70	59	46	39	410	525	737	237	73	62	49	41	433	554
85	K16+002	37.1	32.0	23.1	766	279	65	48	46	38	481	614	825	301	70	52	49	41	518	662
86	K16+202	37.6	32.9	22.7	801	299	96	69	55	47	503	625	852	318	102	73	58	50	534	664
87	K16+401	39.3	32.9	23.8	393	102	43	33	27	23	195	264	400	103	44	34	27	23	199	269
88	K16+601	37.2	30.2	23.5	985	469	216	164	129	108	729	797	1058	504	232	176	139	116	783	856
89	K16+804	40.6	30.7	23.9	784	225	91	66	50	43	503	593	772	221	90	65	49	42	496	584
90	K17+006	39.8	33.9	23.5	547	196	75	60	50	44	363	447	549	197	75	60	50	44	365	449
91	K17+208	37.1	32.0	23.9	718	388	184	136	109	93	551	639	773	417	198	147	117	100	593	688
92	K17+433	38.3	25.4	23.7	552	251	119	94	76	68	372	441	577	262	124	98	80	71	389	461
93	K17+601	40.1	34.9	23.7	283	109	51	41	34	30	176	214	282	109	51	41	34	30	175	213
94	K17+810	36.7	32.3	23.1	799	335	142	105	81	70	545	662	871	365	155	115	88	76	594	722
95	K18+010	38.1	31.8	24.4	505	168	61	49	40	36	300	395	530	176	64	51	42	38	315	414
96	K18+202	38.5	32.8	23.1	729	346	121	82	61	52	534	611	758	359	126	85	64	54	555	635
97	K18+405	39.8	31.7	24.9	599	256	109	80	61	53	402	488	603	257	110	81	62	53	404	491
98	K18+605	37.5	33.8	24.6	725	387	187	146	117	101	546	632	772	412	199	155	125	107	581	673
99	K18+803	41.4	33.2	24.7	381	125	47	36	29	26	226	275	368	121	46	35	28	25	219	266

100	K19+000	43.3	32.1	23.8	305	117	54	42	34	30	189	235	281	108	50	39	32	28	175	217
101	K19+210	38.7	24.8	24.8	518	179	107	85	69	59	307	378	534	185	110	88	72	61	317	390
102	K19+403	38.7	34.4	25.3	439	108	53	44	37	33	238	314	454	112	54	45	38	34	246	325
103	K19+602	38.4	32.2	25.3	569	270	124	92	69	56	391	478	593	281	129	96	71	59	408	498
104	K19+803	37.5	34.1	25.1	619	232	71	47	35	29	394	505	659	247	76	50	37	31	420	539
105	K20+000	38.9	33.7	26.7	370	155	80	63	50	43	241	284	380	159	82	65	52	44	248	292
106	K20+203	39.7	34.0	27.9	245	125	84	71	62	55	164	190	247	126	85	72	62	56	165	192
107	K20+389	39.7	29.0	28.8	311	76	34	28	24	21	157	205	313	76	34	29	24	21	158	206
108	K20+600	38.9	31.9	28.1	571	266	131	105	89	80	403	481	587	273	134	108	91	82	415	494
109	K20+800	39.1	31.8	27.2	391	178	104	82	65	55	254	306	400	182	106	84	67	57	260	313
110	K21+000	39.4	30.6	28.3	335	132	64	49	39	33	214	257	340	134	65	50	40	34	218	261
111	K21+204	39.6	34.9	28.8	545	166	76	61	50	43	322	401	550	168	77	62	51	43	325	405
112	K21+400	39.1	31.3	27.8	612	145	64	50	40	35	321	438	626	148	65	51	41	35	328	448
113	K21+602	38.8	33.7	28.8	542	157	74	63	53	47	311	416	558	162	76	65	55	48	320	429
114	K21+801	39.8	34.1	27.6	451	213	122	98	77	67	297	349	453	214	123	98	78	67	299	351
115	K22+000	40.0	34.6	27.9	479	170	73	57	45	39	307	382	479	170	73	57	45	39	307	382
116	K22+202	39.1	34.8	27.5	620	248	105	80	64	55	399	498	635	254	108	82	66	57	408	510
117	K22+409	40.3	28.5	27.8	338	134	55	42	35	31	220	266	335	133	55	42	35	31	218	264
118	K22+600	40.6	34.9	27.8	321	120	56	44	36	32	197	228	317	118	56	44	36	31	195	225
119	K22+801	40.2	34.7	28.3	371	191	111	88	70	59	264	306	369	190	110	88	70	58	263	305
120	K23+013	40.1	30.1	28.6	423	169	74	58	46	40	275	334	422	168	74	58	46	40	275	334
121	K23+233	40.1	34.6	28.5	384	175	97	76	60	51	252	297	384	175	96	76	60	50	251	297
122	K23+411	39.7	34.8	27.4	471	233	122	95	73	62	330	388	474	235	123	96	74	62	333	392
123	K23+600	40.1	34.9	28.4	376	130	60	47	39	34	220	270	375	130	60	47	39	33	220	270
124	K23+806	40.4	34.8	28.8	316	131	70	56	46	40	204	248	313	130	69	56	46	40	202	245
125	K24+004	40.1	34.8	28.4	416	151	67	53	45	40	253	322	414	151	67	53	45	40	253	321
126	K24+206	39.6	34.8	28.3	617	262	132	108	91	82	395	492	624	264	133	109	92	83	399	497
127	K24+405	39.2	34.8	28.3	579	216	79	61	50	43	374	451	591	220	81	63	51	44	382	460
128	K24+600	38.2	34.9	28.6	797	422	190	147	119	107	590	703	834	442	199	154	124	112	617	736
129	K24+800	37.3	34.7	28.5	1088	554	210	152	110	91	813	957	1166	594	225	163	118	98	872	1026
130	K25+010	40.1	30.1	28.6	423	169	74	58	46	40	275	334	422	168	74	58	46	40	275	334
131	K25+205	40.1	34.6	28.5	384	175	97	76	60	51	252	297	384	175	96	76	60	50	251	297
132	K25+400	39.7	34.8	27.4	471	233	122	95	73	62	330	388	474	235	123	96	74	62	333	392
133	K25+602	40.1	34.9	28.4	376	130	60	47	39	34	220	270	375	130	60	47	39	33	220	270
134	K25+800	40.4	34.8	28.8	316	131	70	56	46	40	204	248	313	130	69	56	46	40	202	245
135	K26+001	40.1	34.8	28.4	416	151	67	53	45	40	253	322	414	151	67	53	45	40	253	321
136	K26+200	39.6	34.8	28.3	617	262	132	108	91	82	395	492	624	264	133	109	92	83	399	497
137	K26+403	39.2	34.8	28.3	579	216	79	61	50	43	374	451	591	220	81	63	51	44	382	460
138	K26+600	38.2	34.9	28.6	797	422	190	147	119	107	590	703	834	442	199	154	124	112	617	736
139	K26+800	37.3	34.7	28.5	1088	554	210	152	110	91	813	957	1166	594	225	163	118	98	872	1026
140	K27+010	39.2	34.8	28.3	579	216	79	61	50	43	374	451	591	220	81	63	51	44	382	460
141	K27+200	38.2	34.9	28.6	797	422	190	147	119	107	590	703	834	442	199	154	124	112	617	736
142	K27+405	37.3	34.7	28.6	1088	554	210	152	110	91	813	957	1166	594	225	163	118	98	872	1026

8.1.1.3 Espesores del pavimento, Popayán – El Tambo, carril derecho.

En esta tabla se presenta la tabla de espesores en el tramo, debido a que para la metodología de la AASTHO 93 se hace necesario conocer este dato, ver (Tabla anexo 3).

Tabla anexo 3. Espesores del pavimento, Popayán – El Tambo, Carril Derecho.

Abscisa		Espesores de estructura de pavimento			
De	Hasta	MCD2 (m)	Carpeta existente mejorada (m)	Granulares	BEC (m)
K00+000	K0+145	0.10		0.55	
K00+145	K0+570	0.10		0.40	
K00+570	K0+730	0.10		0.45	
K00+730	K1+100	0.08		0.22	
K01+100	K1+440	0.06		0.34	
K01+440	K1+740	0.06		0.34	
K01+740	K2+000	0.05		0.25	
K02+000	K2+550	0.08		0.52	
K02+550	K2+850	0.04		0.36	
K02+850	K3+100	0.07		0.53	
K03+100	K3+550	0.07		0.28	
K03+550	K3+920	0.12		0.48	
K03+920	K4+253	0.10		0.14	
K04+253	K4+500	0.11		0.29	
K04+500	K5+000	0.12		0.10	
K05+000	K5+315	0.12		0.40	
K05+315	K5+660	0.12		0.40	
K05+660	K6+120	0.12		0.40	
K06+120	K6+370	0.16		0.29	
K06+370	K6+620	0.10		0.29	
K06+620	K7+080	0.10		0.29	
K07+080	K7+380	0.10		0.60	
K07+380	K7+840	0.10		0.60	
K07+840	K8+150	0.10		0.60	
K08+150	K8+600	0.10		0.30	

K08+600	K8+870	0.10		0.30	
K08+870	K9+153	0.10		0.30	
K09+153	K9+500	0.10		0.30	
K09+500	K10+010	0.10		0.40	
K10+010	K10+257	0.10		0.40	
K10+257	K10+410	0.10		0.40	
K10+410	K10+960	0.10		0.50	
K10+960	K11+450	0.10		0.60	
K11+450	K11+660	0.15		0.55	
K11+660	K12+170	0.15		0.55	
K12+170	K12+370	0.15		0.45	
K12+370	K12+570	0.10		0.45	
K12+570	K13+100	0.10		0.45	
K13+100	K13+250	0.10		0.45	
K13+250	K13+810	0.10		0.60	
K13+810	K14+110	0.10		0.40	
K14+110	K14+660	0.10		0.40	
K14+660	K14+850	0.10		0.60	
K14+850	K15+250	0.10		0.45	
K15+250	K15+410	0.08		0.22	
K15+410	K15+940	0.08		0.42	
K15+940	K16+200	0.08		0.60	
K16+200	K16+850	0.10		0.40	
K16+850	K17+000	0.10		0.40	
K17+000	K17+530	0.10		0.60	
K17+530	K17+740	0.10		0.60	
K17+740	K18+100	0.10		0.40	
K18+100	K18+560	0.10		0.60	
K18+560	K18+900	0.10		0.60	
K18+900	K19+500	0.10		0.60	
K19+500	K20+070	0.10		0.60	
K20+070	K20+470	0.10		0.60	
K20+470	K20+780	0.10		0.40	
K20+780	K21+100	0.10		0.40	
K21+100	K21+580	0.10		0.45	
K21+580	K21+840	0.10		0.50	
K21+840	K22+100	0.10		0.40	
K22+100	K22+600	0.10		0.35	
K22+600	K22+900	0.10		0.60	
K22+900	K23+290	0.10		0.50	
K23+290	K23+650	0.10		0.50	
K23+650	K23+850	0.10		0.60	
K23+850	K24+350	0.10		0.60	

K24+350	K24+770	0.10		0.50	
K24+770	K25+060	0.10		0.60	
K25+060	K25+440	0.10		0.60	
K25+440	K25+700	0.10		0.60	
K25+700	K26+150	0.10		0.60	
K26+150	K26+350	0.08		0.40	
K26+350	K26+960	0.08		0.38	
K26+960	K27+174	0.08		0.52	
K27+174	K27+405	0.08		0.60	

8.1.1.4 Sectorización deflectometría, Popayán – El Tambo, carril derecho.

Para la identificación de tramos homogéneos con el fin de obtener de manera objetiva los tramos de análisis correctas estadísticamente. Este proceso, se llevó a cabo a través del método de las diferencias acumuladas para la obtención de unidades homogéneas puntualizado por el Instituto Nacional de Vías el cual incluye una variable Z_x como medida estadística y el cual se puede evidenciar en el ítem 5.2.1 del marco conceptual. (INV E – 821, 2013), ver (Tabla anexo 4).

Tabla anexo 4. Sectorización deflectometría, Popayán – El Tambo, carril derecho.

TRAMOS HOMOGENEOS POR EL METODO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS									RADIO DE CURVATURA		
ABSCISA (Km)	DEFLEXIÓN, DO (μm)	NUMERO DE INTERVALO	DISTANCIA DE INTERVALO (Km)	DISTANCIA ACUMULADA	DEFLEXION PROMEDIO	AREA DEL INTERVALO REAL	AREA ACUMULADA	Z_x	DEFLEXIÓN, DO _{CT} (1/100 mm)	DEFLEXIÓN D _{30c} (1/100 mm) $R_c = (30^2) / (2 * (D_o - d_{30}))$	RADIO DE CURVATURA
K0+000	210.8	1	0.200	0.20	210.82	42.16	42.16	-69.46	22.4	13.2	491
K0+200	820.2	2	0.201	0.40	515.49	103.61	145.78	-78.02	91.6	49.3	106
K0+401	377.7	3	0.199	0.60	598.93	119.19	264.97	-69.89	40.0	18.9	213
K0+600	700.8	4	0.201	0.80	539.24	108.39	373.35	-73.68	77.7	38.3	114
K0+801	490.7	5	0.200	1.00	595.76	119.15	492.50	-66.15	56.1	34.8	212

K1+001	1040.4	6	0.200	1.20	765.56	153.11	645.62	-24.66	130.6	60.1	64
K1+201	395.7	7	0.199	1.40	718.06	142.89	788.51	7.17	46.6	27.1	230
K1+400	443.7	8	0.205	1.61	419.74	86.05	874.56	-21.19	53.4	26.6	168
K1+605	702.3	9	0.195	1.80	573.02	111.74	986.29	-18.28	85.0	51.7	135
K1+800	381.8	10	0.200	2.00	542.04	108.41	1094.70	-21.50	46.9	30.0	267
K2+000	284.5	11	0.202	2.20	333.12	67.29	1161.99	-66.94	34.6	14.4	222
K2+202	538.2	12	0.196	2.40	411.35	80.63	1242.62	-95.70	65.3	35.2	149
K2+398	510.3	13	0.202	2.60	524.26	105.90	1348.52	-102.54	52.5	28.2	185
K2+600	515.6	14	0.202	2.80	512.95	103.62	1452.13	-111.66	64.9	28.6	124
K2+802	668.3	15	0.202	3.00	591.95	119.57	1571.71	-104.82	83.5	26.9	80
K3+004	529.6	16	0.196	3.20	598.93	117.39	1689.10	-96.82	64.1	32.6	143
K3+200	531.9	17	0.200	3.40	530.73	106.15	1795.24	-102.29	54.5	26.3	159
K3+400	514.1	18	0.201	3.60	522.99	105.12	1900.36	-109.35	61.4	38.6	197
K3+601	535.4	19	0.204	3.81	524.76	107.05	2007.42	-116.15	53.4	19.1	131
K3+805	646.4	20	0.215	4.02	590.93	127.05	2134.47	-109.09	67.4	24.9	106
K4+020	587.5	21	0.180	4.20	616.97	111.05	2245.52	-98.50	60.6	30.0	147
K4+200	557.0	22	0.201	4.40	572.26	115.02	2360.55	-95.65	56.4	16.3	112
K4+401	540.8	23	0.201	4.60	548.89	110.33	2470.87	-97.50	56.6	26.5	150
K4+602	826.5	24	0.199	4.80	683.64	136.04	2606.92	-72.52	87.2	39.6	94
K4+801	486.7	25	0.203	5.00	656.59	133.29	2740.21	-52.52	49.2	16.8	139
K5+004	698.5	26	0.046	5.05	592.58	27.26	2767.46	-50.94	71.7	25.6	98
K5+050	746.8	27	0.053	5.10	722.63	38.30	2805.76	-42.22	68.8	33.9	129
K5+103	580.1	28	0.097	5.20	663.45	64.35	2870.12	-32.00	54.0	20.5	135
K5+200	508.8	29	0.201	5.40	544.45	109.43	2979.55	-34.74	46.3	16.4	150
K5+401	570.0	30	0.205	5.61	539.37	110.57	3090.12	-38.58	52.1	22.9	154
K5+606	850.9	31	0.196	5.80	710.44	139.25	3229.37	-8.72	80.6	42.0	117
K5+802	860.3	32	0.200	6.00	855.60	171.12	3400.49	50.78	82.9	43.9	115
K6+002	569.7	33	0.198	6.20	715.01	141.57	3542.06	81.85	52.3	18.8	134
K6+200	384.6	34	0.200	6.40	477.14	95.43	3637.49	65.65	34.7	20.1	308
K6+400	167.9	35	0.201	6.60	276.23	55.52	3693.01	9.00	15.2	9.5	787
K6+601	556.0	36	0.233	6.83	361.95	84.33	3777.34	-36.70	51.2	27.4	189
K6+834	616.2	37	0.166	7.00	586.11	97.29	3874.64	-32.06	56.1	29.6	170
K7+000	690.4	38	0.203	7.20	653.29	132.62	4007.25	-12.73	65.2	22.6	106
K7+203	253.7	39	0.197	7.40	472.06	93.00	4100.25	-29.68	22.5	9.8	355
K7+400	460.5	40	0.200	7.60	357.12	71.42	4171.67	-69.88	40.7	19.1	207
K7+600	519.7	41	0.207	7.81	490.09	101.45	4273.12	-83.95	46.7	25.5	212
K7+807	393.4	42	0.196	8.00	456.57	89.49	4362.61	-103.86	37.4	14.9	200
K8+003	614.9	43	0.203	8.21	504.19	102.35	4464.96	-114.80	57.2	32.0	178
K8+206	824.2	44	0.202	8.41	719.58	145.36	4610.32	-82.18	82.0	44.7	121
K8+408	586.2	45	0.060	8.47	705.23	42.31	4652.63	-73.35	53.3	18.6	130
K8+468	1163.3	46	0.133	8.60	874.78	116.35	4768.98	-31.23	111.8	47.4	70
K8+601	593.1	47	0.201	8.80	878.21	176.52	4945.50	33.11	53.5	16.3	121
K8+802	636.3	48	0.198	9.00	614.68	121.71	5067.20	44.31	58.5	28.6	151

K9+000	589.0	49	0.217	9.22	612.65	132.94	5200.15	56.15	52.1	23.8	159
K9+217	412.0	50	0.183	9.40	500.51	91.59	5291.74	45.61	35.5	16.6	238
K9+400	712.0	51	0.187	9.59	561.98	105.09	5396.83	46.33	63.7	30.7	136
K9+587	695.2	52	0.213	9.80	703.58	149.86	5546.69	77.32	65.4	27.6	119
K9+800	1124.0	53	0.201	10.00	909.57	182.82	5729.52	147.97	106.4	19.1	52
K10+001	535.9	54	0.216	10.22	829.95	179.27	5908.78	206.69	47.4	17.2	149
K10+217	382.8	55	0.186	10.40	459.36	85.44	5994.22	188.32	33.1	10.8	202
K10+403	381.5	56	0.199	10.60	382.14	76.05	6070.27	153.31	33.2	20.0	340
K10+602	527.1	57	0.204	10.81	454.28	92.67	6162.94	132.13	46.2	14.1	140
K10+806	503.9	58	0.197	11.00	515.49	101.55	6264.50	123.73	42.7	16.2	169
K11+003	358.1	59	0.198	11.20	431.04	85.35	6349.84	98.57	34.2	11.3	196
K11+201	437.1	60	0.199	11.40	397.64	79.13	6428.97	66.64	37.4	12.2	178
K11+400	721.1	61	0.202	11.60	579.12	116.98	6545.95	70.89	70.6	29.7	110
K11+602	513.1	62	0.209	11.81	617.09	128.97	6674.93	83.22	43.6	14.0	152
K11+811	659.9	63	0.189	12.00	586.49	110.85	6785.77	88.58	59.1	22.0	121
K12+000	697.0	64	0.204	12.20	678.43	138.40	6924.17	113.13	65.0	26.8	118
K12+204	513.3	65	0.202	12.41	605.16	122.24	7046.41	122.64	47.2	16.8	148
K12+406	498.1	66	0.227	12.63	505.71	114.80	7161.21	110.75	45.9	19.4	170
K12+633	287.0	67	0.168	12.80	392.56	65.95	7227.16	82.94	26.3	9.5	268
K12+801	426.2	68	0.202	13.00	356.62	72.04	7299.20	42.24	38.9	13.9	180
K13+003	391.7	69	0.199	13.20	408.94	81.38	7380.58	12.55	35.5	11.2	185
K13+202	352.3	70	0.201	13.40	371.98	74.77	7455.34	-24.86	31.2	8.6	199
K13+403	502.7	71	0.198	13.60	427.48	84.64	7539.99	-50.72	44.5	20.5	187
K13+601	540.8	72	0.206	13.81	521.72	107.47	7647.46	-58.21	50.1	15.0	128
K13+807	398.5	73	0.000	13.81	469.65	0.00	7647.46	-58.21	35.7	11.0	182
K13+807	389.6	74	0.247	14.05	394.08	97.34	7744.80	-98.73	35.6	11.3	185
K14+054	354.8	75	0.190	14.24	372.24	70.73	7815.52	-134.04	31.1	8.7	201
K14+244	707.4	76	0.157	14.40	531.11	83.38	7898.91	-138.28	67.9	25.9	107
K14+401	831.9	77	0.199	14.60	769.62	153.15	8052.06	-96.18	84.8	35.1	90
K14+600	733.0	78	0.232	14.83	782.45	181.53	8233.59	-44.13	65.3	25.6	113
K14+832	836.9	79	0.168	15.00	784.99	131.88	8365.47	-6.02	74.3	32.6	108
K15+000	675.4	80	0.201	15.20	756.16	151.99	8517.45	33.79	58.7	29.9	156
K15+201	505.0	81	0.201	15.40	590.17	118.62	8636.08	40.24	45.0	11.7	135
K15+402	716.5	82	0.200	15.60	610.74	122.15	8758.23	50.77	71.0	23.2	94
K15+602	795.5	83	0.201	15.80	756.03	151.96	8910.19	90.55	76.8	25.6	88
K15+803	698.2	84	0.199	16.00	746.89	148.63	9058.82	128.12	66.6	21.5	100
K16+002	765.6	85	0.200	16.20	731.90	146.38	9205.20	162.88	74.8	27.3	95
K16+202	801.4	86	0.199	16.40	783.46	155.91	9361.11	207.73	72.3	27.0	99
K16+401	393.2	87	0.200	16.60	597.28	119.46	9480.57	215.56	34.0	8.8	179
K16+601	985.0	88	0.203	16.80	689.10	139.89	9620.45	242.16	93.2	44.4	92
K16+804	783.6	89	0.202	17.01	884.30	178.63	9799.08	308.05	67.5	19.4	93
K17+006	546.6	90	0.202	17.21	665.10	134.35	9933.43	329.67	45.9	16.4	152
K17+208	717.8	91	0.225	17.43	632.21	142.25	10075.68	346.34	66.4	35.9	147

K17+433	551.7	92	0.168	17.60	634.75	106.64	10182.32	359.22	54.1	24.6	153
K17+601	283.0	93	0.209	17.81	417.32	87.22	10269.54	329.79	23.3	9.0	315
K17+810	799.1	94	0.200	18.01	541.02	108.20	10377.74	326.38	74.6	31.3	104
K18+010	504.7	95	0.192	18.20	651.89	125.16	10502.90	344.39	45.6	15.2	148
K18+202	729.0	96	0.203	18.41	616.84	125.22	10628.12	356.31	64.4	30.6	133
K18+405	599.2	97	0.200	18.61	664.08	132.82	10760.94	377.51	52.0	22.2	151
K18+605	724.7	98	0.198	18.80	661.92	131.06	10892.00	398.06	64.7	34.6	149
K18+803	380.7	99	0.197	19.00	552.70	108.88	11000.88	397.00	31.1	10.2	215
K19+000	304.5	100	0.210	19.21	342.65	71.96	11072.84	351.76	24.2	9.3	303
K19+210	517.7	101	0.193	19.40	411.10	79.34	11152.18	323.39	50.4	17.5	137
K19+403	439.2	102	0.199	19.60	478.41	95.20	11247.38	307.53	37.8	9.3	158
K19+602	569.0	103	0.201	19.80	504.06	101.32	11348.70	296.67	50.8	24.1	169
K19+803	618.7	104	0.197	20.00	593.85	116.99	11465.69	303.71	55.0	20.6	131
K20+000	369.8	105	0.203	20.20	494.28	100.34	11566.03	290.75	31.9	13.4	243
K20+203	245.1	106	0.186	20.39	307.47	57.19	11623.22	244.14	20.6	10.6	447
K20+389	310.9	107	0.211	20.60	278.00	58.66	11681.88	185.04	28.0	6.8	213
K20+600	570.7	108	0.200	20.80	440.82	88.16	11770.04	161.58	50.5	23.5	167
K20+800	391.2	109	0.200	21.00	480.95	96.19	11866.23	146.15	34.5	15.7	240
K21+000	334.5	110	0.204	21.20	362.84	74.02	11940.25	106.32	29.8	11.7	249
K21+204	544.6	111	0.196	21.40	439.55	86.15	12026.40	83.08	45.4	13.9	143
K21+400	611.9	112	0.202	21.60	578.23	116.80	12143.20	87.15	54.3	12.9	108
K21+602	542.0	113	0.199	21.80	576.96	114.82	12258.02	90.90	46.9	13.6	135
K21+801	451.1	114	0.199	22.00	496.57	98.82	12356.83	78.66	37.8	17.8	225
K22+000	479.0	115	0.202	22.20	465.07	93.94	12450.78	59.87	39.7	14.1	176
K22+202	620.3	116	0.207	22.41	549.66	113.78	12564.56	58.12	52.4	21.0	143
K22+409	337.8	117	0.191	22.60	479.04	91.50	12656.06	43.02	30.2	12.0	247
K22+600	321.1	118	0.201	22.80	329.44	66.22	12722.27	-2.94	26.1	9.7	275
K22+801	370.8	119	0.212	23.01	345.95	73.34	12795.61	-47.92	30.6	15.7	303
K23+013	423.2	120	0.220	23.23	397.00	87.34	12882.95	-83.36	37.3	14.9	201
K23+233	384.3	121	0.178	23.41	403.73	71.86	12954.82	-110.84	31.8	14.5	260
K23+411	470.7	122	0.189	23.60	427.48	80.79	13035.61	-135.52	39.2	19.4	227
K23+600	375.7	123	0.206	23.81	423.16	87.17	13122.78	-163.32	31.0	10.7	222
K23+806	316.0	124	0.198	24.00	345.82	68.47	13191.26	-205.35	25.8	10.7	298
K24+004	415.5	125	0.202	24.21	365.76	73.88	13265.14	-244.20	34.2	12	207
K24+206	617.2	126	0.199	24.41	516.38	102.76	13367.90	-252.50	51.5	21.8	152
K24+405	579.1	127	0.195	24.60	598.17	116.64	13484.54	-244.69	48.9	18.2	147
K24+600	796.8	128	0.200	24.80	687.96	137.59	13622.14	-218.72	68.9	36.5	139
K24+800	1087.6	129	0.210	25.01	942.21	197.86	13820.00	-138.05	96.5	49.2	95
K25+010	423.2	130	0.195	25.21	755.40	147.30	13967.30	-99.58	37.3	14.9	201
K25+205	384.3	131	0.195	25.40	403.73	78.73	14046.03	-129.68	31.8	14.5	260
K25+400	470.7	132	0.202	25.60	427.48	86.35	14132.38	-156.07	39.2	19.4	227
K25+602	375.7	133	0.198	25.80	423.16	83.79	14216.17	-182.79	31.0	10.7	222
K25+800	316.0	134	0.201	26.00	345.82	69.51	14285.68	-225.45	25.8	10.7	298

K26+001	415.5	135	0.199	26.20	365.76	72.79	14358.46	-263.73	34.2	12.4	207
K26+200	617.2	136	0.203	26.40	516.38	104.83	14463.29	-272.20	55.1	23.3	142
K26+403	579.1	137	0.197	26.60	598.17	117.84	14581.13	-264.30	52.2	19.5	137
K26+600	796.8	138	0.200	26.80	687.96	137.59	14718.72	-238.33	73.6	39.0	130
K26+800	1087.6	139	0.210	27.01	942.21	197.86	14916.59	-157.67	103.1	52.5	89
K27+010	579.1	140	0.190	27.20	833.37	158.34	15074.93	-105.36	52.2	19.5	137
K27+200	796.8	141	0.205	27.41	687.96	141.03	15215.96	-78.74	73.6	39.0	130
K27+405	1087.6	142	0.205	27.61	942.21	193.15	15409.11	0.00	103.1	52.5	89

8.1.1.5 Módulo resiliente de retrocálculo, Popayán – El Tambo, carril derecho.

Se presenta a continuación los valores de módulo resiliente de retrocálculo, en donde se analizan diferentes metodologías para encontrar dicho parámetro de la subrasante, ver (Tabla anexo 5).

Tabla anexo 5. Módulo resiliente de retrocálculo, Popayán – El Tambo, carril derecho.

Abscisa (m)	Módulo resiliente de retrocálculo (Kg/cm ²)				
	ASTHMO 93	LUKANEN	FHWA	YONOPAVE	WASDOT
K0+000	1732	1491	3251	11111	4067
K0+200	926	528	913	3615	2160
K0+401	1950	1067	2193	8376	3442
K0+600	1041	542	1211	4317	2074
K0+801	1148	729	1463	5089	2228
K1+001	605	393	571	3067	1723
K1+201	1294	786	1890	6148	2353
K1+400	1370	757	1617	6347	2488
K1+605	726	441	943	3367	1445
K1+800	1299	720	1649	5544	2091
K2+000	2774	1374	2270	11667	4974
K2+202	1019	618	1171	4870	2133
K2+398	1187	726	1401	5349	2384
K2+600	1341	817	1130	6396	3468

K2+802	1413	760	878	5952	3610
K3+004	1571	767	1153	5792	3044
K3+200	1207	863	1636	6207	3368
K3+400	972	663	1221	4742	2258
K3+601	2095	964	1423	7712	3775
K3+805	2376	875	1089	6499	3993
K4+020	1042	820	1379	5658	3316
K4+200	1926	903	1497	8055	3535
K4+401	1140	650	1601	5445	2074
K4+602	754	533	1041	4072	2204
K4+801	1861	988	1932	8337	3813
K5+004	1661	737	1297	5854	3118
K5+050	1161	649	1088	4470	2266
K5+103	1993	940	1417	7165	3452
K5+200	2125	1050	1666	8381	3731
K5+401	1331	768	1813	5964	2316
K5+606	807	491	907	3472	1540
K5+802	789	463	849	3356	1469
K6+002	2345	1055	1377	7781	4204
K6+200	1522	972	1845	6602	2483
K6+400	2840	1961	3785	11719	4777
K6+601	1367	794	1339	5425	2543
K6+834	1170	714	1224	4861	2303
K7+000	1277	905	1008	6550	4152
K7+203	3842	2047	4352	14826	7149
K7+400	1691	955	1985	7186	2848
K7+600	1079	778	1305	5242	2400
K7+807	2820	1345	1683	10175	4726
K8+003	905	642	1045	4352	2042
K8+206	838	500	798	3466	1831
K8+408	1574	809	1242	6870	3751
K8+468	857	414	786	3174	1697
K8+601	1711	1010	1721	8014	4209
K8+802	1126	664	1232	4894	2243
K9+000	1321	773	1498	5652	2537
K9+217	1708	1062	2155	7685	3238
K9+400	1079	626	1113	4486	2064
K9+587	1309	699	1413	5281	2731
K9+800	1997	669	840	5230	3651
K10+001	1901	986	1979	7703	3755
K10+217	3389	1493	2935	12120	5249
K10+403	1612	1094	1512	6025	3256
K10+602	2638	1170	1044	9165	4928

K10+806	1941	992	1160	7944	3219
K11+003	2803	1393	1427	11788	5288
K11+201	2440	1209	1306	10106	4372
K11+400	1469	720	672	5244	3007
K11+602	2234	1107	1126	8896	4199
K11+811	1727	837	823	6404	3335
K12+000	1498	722	732	5528	2798
K12+204	2293	1094	1022	8415	4558
K12+406	1669	886	2034	7130	2876
K12+633	3190	1682	3697	13944	5602
K12+801	2013	1086	2466	9230	3625
K13+003	2622	1286	2623	11201	4686
K13+202	2922	1416	3005	13131	4964
K13+403	1708	956	1840	6932	3172
K13+601	1943	938	1583	8277	3555
K13+807	2918	1405	2287	11599	5309
K13+807	2841	1383	2271	11496	5250
K14+054	3575	1646	2628	13826	6414
K14+244	985	561	1130	4951	1930
K14+401	1156	586	898	4420	2523
K14+600	1042	573	1198	4853	1850
K14+832	922	544	985	4040	2016
K15+000	936	587	989	4161	1818
K15+201	2752	1177	1306	10069	4961
K15+402	1219	738	802	6043	3327
K15+602	1399	637	735	5323	2822
K15+803	2105	823	865	6543	3780
K16+002	2175	854	755	5715	4152
K16+202	1512	721	792	5250	3188
K16+401	3652	1619	1761	13295	6916
K16+601	655	393	752	3024	1321
K16+804	1844	855	1132	6486	3686
K17+006	2157	1043	1631	8012	3806
K17+208	689	502	814	3545	1579
K17+433	1258	712	1604	5752	2354
K17+601	3200	1763	4152	13738	5622
K17+810	964	542	1099	4297	2061
K18+010	2411	1098	1866	8800	4513
K18+202	1246	716	1069	4721	2823
K18+405	1473	839	1679	6100	2950
K18+605	658	496	822	3522	1487
K18+803	3694	1743	1883	12793	6655
K19+000	3514	1931	2537	13869	5985

K19+210	1435	790	1089	7201	2626
K19+403	2898	1295	1450	11728	5055
K19+602	1210	744	1368	5427	2506
K19+803	2021	1001	1236	6890	4817
K20+000	1937	1151	2636	9115	3611
K20+203	1508	1285	2934	8732	3139
K20+389	4799	1955	2161	16958	8008
K20+600	1181	705	1453	5389	2101
K20+800	1504	960	2223	7498	2789
K21+000	2479	1388	2589	11074	4674
K21+204	2097	1028	1708	8589	3732
K21+400	2455	1041	1410	8756	4564
K21+602	2080	971	1624	8626	3523
K21+801	1323	856	1845	6357	2379
K22+000	2245	1157	1764	8983	4130
K22+202	1479	817	1695	6161	2848
K22+409	2998	1557	3040	11803	5504
K22+600	2976	1633	3531	12659	5306
K22+801	1244	1001	1950	6373	2661
K23+013	2216	1181	1596	9096	4048
K23+233	1697	1079	2314	7994	3079
K23+411	1311	856	1608	6021	2472
K23+600	2744	1436	2058	11480	4915
K23+806	2387	1424	3347	10997	4134
K24+004	2457	1289	2506	10081	4317
K24+206	1215	707	1583	5517	2076
K24+405	1982	977	1652	7331	3694
K24+600	784	495	777	3398	1497
K24+800	675	406	584	2756	1487
K25+010	2216	1181	1623	9096	4048
K25+205	1433	1079	2314	7994	3079
K25+400	1130	856	1608	6021	2472
K25+602	2744	1436	2058	11480	4915
K25+800	2387	1424	3347	10997	4134
K26+001	2457	1289	2506	10081	4317
K26+200	1215	688	1663	5516	2076
K26+403	1982	947	1736	7222	3694
K26+600	784	482	819	3441	1497
K26+800	675	394	613	2768	1487
K27+010	1982	947	1270	7222	3694
K27+200	784	482	819	3441	1497
K27+405	675	394	613	2768	1487

8.1.1.6 Resumen deflectometría Popayán – El Tambo, carril derecho.

Se genera una tabla resumen por sectores homogéneos, se aplica un 85 % de confiabilidad para calcular los límites de confianza, ver (Tabla anexo 6).

Tabla anexo 6. Resumen deflectometría módulo resiliente de retrocálculo (Mrr), Popayán – El Tambo, carril derecho.

Tramo Homogéneo			Deflectometría		Módulo resiliente de retrocálculo (Kg/cm ²)				
#	Abs Inicial	Abs Final	Do (µm)	RC	ASTHHO 93	LUKANEN	FHWA	YONOPAVE	WASDOT
1	K00+000	K06+000	624	155	1377	769	1406	5943	2780
2	K06+000	K08+000	413	255	1940	1124	1922	7843	3666
3	K08+000	K10+217	618	138	1480	781	1410	5945	2943
4	K10+217	K14+054	422	176	2277	1140	1728	9199	4176
5	K14+054	K18+803	608	132	1636	824	1252	6357	3195
6	K18+803	K24+004	372	214	2130	1162	2040	9044	3908
7	K24+004	K27+405	564	162	1445	818	1470	6161	2717

Para calcular el módulo resiliente de la subrasante (Mr) se utilizó el factor de ajuste calculado en este documento, obteniendo los siguientes resultados, ver ().

Tabla anexo 7. Resumen deflectometría módulo resiliente de la subrasante (Mr), Popayán – El Tambo, carril derecho.

Tramo Homogéneo			Deflectometría		Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm ²)				
#	Abs Inicial	Abs Final	Do (µm)	RC	ASTHHO 93	LUKANEN	FHWA	YONOPAVE	WASDOT
1	K00+000	K06+000	624	155	325	336	360	341	339
2	K06+000	K08+000	413	255	458	492	492	450	447
3	K08+000	K10+217	618	138	349	342	361	341	359
4	K10+217	K14+054	422	176	537	499	442	528	510
5	K14+054	K18+803	608	132	386	360	321	365	390
6	K18+803	K24+004	372	214	503	508	522	519	477
7	K24+004	K27+405	564	162	341	358	376	354	332

8.1.2 Carril Izquierdo.

8.1.2.1 Chequeo temperatura del aire y pavimento Popayán – El

Tambo, carril izquierdo.

En la siguiente tabla se presentan los valores de temperatura en °C para el pavimento y el aire, se chequea que la temperatura del pavimento sea menor a 35 °C, como también que la temperatura del pavimento no sea mayor que la temperatura del aire, chequeo necesario para hacer valido cada punto de estudio, ver (Tabla anexo 8).

Tabla anexo 8. Chequeo Temperatura, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.

Punto	Abscisa	T°c Pav	T°c Aire	Chequeo T°c Pav >= T°c Aire	Chequeo T°c Pav <= 35 °C
1	K0+107	20	15	OK	OK
2	K0+297	19	14	OK	OK
3	K0+506	18	13	OK	OK
4	K0+700	18	14	OK	OK
5	K0+898	18	13	OK	OK
6	K1+001	17	13	OK	OK
7	K1+091	17	14	OK	OK
8	K1+293	16	14	OK	OK
9	K1+496	16	14	OK	OK
10	K1+670	15	14	OK	OK
11	K1+902	15	14	OK	OK
12	K2+103	16	14	OK	OK
13	K2+287	17	15	OK	OK
14	K2+498	16	14	OK	OK
15	K2+695	16	14	OK	OK
16	K2+890	16	14	OK	OK
17	K3+099	15	14	OK	OK
18	K3+294	15	14	OK	OK
19	K3+499	15	13	OK	OK
20	K3+879	17	17	OK	OK

21	K4+098	16	16	OK	OK
22	K4+297	17	17	OK	OK
23	K4+473	18	17	OK	OK
24	K4+698	18	17	OK	OK
25	K4+898	19	18	OK	OK
26	K5+084	20	17	OK	OK
27	K5+297	21	18	OK	OK
28	K5+491	20	18	OK	OK
29	K5+697	21	18	OK	OK
30	K5+897	22	19	OK	OK
31	K6+092	21	18	OK	OK
32	K6+299	22	19	OK	OK
33	K6+488	22	21	OK	OK
34	K6+699	23	21	OK	OK
35	K6+895	24	21	OK	OK
36	K7+100	23	22	OK	OK
37	K7+146	23	22	OK	OK
38	K7+303	23	23	OK	OK
39	K7+500	25	24	OK	OK
40	K7+696	26	24	OK	OK
41	K7+888	26	25	OK	OK
42	K8+095	29	25	OK	OK
43	K8+300	26	26	OK	OK
44	K8+490	30	26	OK	OK
45	K8+685	30	28	OK	OK
46	K8+897	31	27	OK	OK
47	K9+096	31	27	OK	OK
48	K9+291	32	27	OK	OK
49	K9+554	34	29	OK	OK
50	K9+688	33	24	OK	OK
51	K9+894	32	23	OK	OK
52	K10+099	33	24	OK	OK
53	K10+300	32	24	OK	OK
54	K10+496	31	24	OK	OK
55	K10+690	30	23	OK	OK
56	K10+902	34	24	OK	OK
57	K11+090	34	24	OK	OK
58	K11+293	34	25	OK	OK
59	K11+489	34	24	OK	OK
60	K11+692	34	23	OK	OK
61	K12+094	33	24	OK	OK
62	K12+501	32	24	OK	OK
63	K12+697	32	23	OK	OK

64	K12+897	32	24	OK	OK
65	K13+098	32	23	OK	OK
66	K13+287	34	23	OK	OK
67	K13+501	32	25	OK	OK
68	K13+685	31	24	OK	OK
69	K13+900	29	23	OK	OK
70	K14+098	29	23	OK	OK
71	K14+298	32	24	OK	OK
72	K14+498	29	24	OK	OK
73	K14+699	35	23	OK	OK
74	K14+892	35	24	OK	OK
75	K15+093	34	24	OK	OK
76	K15+296	32	24	OK	OK
77	K15+499	31	24	OK	OK
78	K15+690	29	24	OK	OK
79	K15+898	33	24	OK	OK
80	K16+101	30	23	OK	OK
81	K16+285	30	23	OK	OK
82	K16+496	33	24	OK	OK
83	K16+695	33	24	OK	OK
84	K16+893	35	24	OK	OK
85	K17+098	35	24	OK	OK
86	K17+290	34	25	OK	OK
87	K17+502	33	25	OK	OK
88	K17+698	35	25	OK	OK
89	K17+900	34	25	OK	OK
90	K18+087	34	25	OK	OK
91	K18+281	34	24	OK	OK
92	K18+499	30	24	OK	OK
93	K18+718	34	24	OK	OK
94	K18+897	35	25	OK	OK
95	K19+082	34	24	OK	OK
96	K19+288	34	24	OK	OK
97	K19+498	32	24	OK	OK
98	K19+696	28	24	OK	OK
99	K19+900	35	24	OK	OK
100	K20+109	34	24	OK	OK
101	K20+298	29	24	OK	OK
102	K20+498	34	24	OK	OK
103	K20+698	35	23	OK	OK
104	K20+901	34	23	OK	OK
105	K21+100	33	23	OK	OK
106	K21+301	33	23	OK	OK

107	K21+500	34	23	OK	OK
108	K21+698	33	22	OK	OK
109	K21+899	35	23	OK	OK
110	K22+098	35	23	OK	OK
111	K22+298	34	23	OK	OK
112	K22+500	34	23	OK	OK
113	K22+699	28	23	OK	OK
114	K22+899	32	22	OK	OK
115	K23+102	35	23	OK	OK
116	K23+300	35	23	OK	OK
117	K23+500	35	22	OK	OK
118	K23+699	35	23	OK	OK
119	K23+899	35	22	OK	OK
120	K24+100	35	22	OK	OK
121	K24+299	29	22	OK	OK
122	K24+500	35	22	OK	OK
123	K24+701	32	22	OK	OK
124	K24+901	35	23	OK	OK
125	K25+102	34	23	OK	OK
126	K25+300	34	23	OK	OK
127	K25+506	28	23	OK	OK
128	K25+701	32	22	OK	OK
129	K25+899	35	23	OK	OK
130	K26+100	35	23	OK	OK
131	K26+303	35	22	OK	OK
132	K26+485	35	23	OK	OK
133	K26+700	35	22	OK	OK
134	K26+910	35	22	OK	OK
135	K27+100	29	22	OK	OK
136	K27+303	35	22	OK	OK
137	K27+510	32	22	OK	OK

8.1.2.2 Datos deflectometría, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.

Se presentan los datos de las deflexiones para las diferentes distancias del centro de carga (-20 cm, 0 cm, 20 cm, 30 cm, 60 cm, 90 cm, 120 cm, 150 cm), como también su

posterior corrección por carga aplicada y por temperatura del pavimento, ver (Tabla anexo 9).

Tabla anexo 9. Datos deflectometría, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.

Punto	ABSCISA	Datos Obtenidos en Campo											Corrección por Carga y Temperatura							
		Carga	Temperatura		Deflexiones Medidas (µm)								Deflexiones Corregidas (µm)							
			Pav.	Aire	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d _{0c}	d _{3c}	d _{6c}	d _{9c}	d _{12c}	d _{15c}	d _{18c}	d _{21c}
No.	(m)	kN	°C	°C	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm	-20 cm	20 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm	-20 cm	20 cm
1	K0+107	39.9	19.6	14.7	516	279	107	80	64	56	393	454	545	280	107	80	64	56	394	455
2	K0+297	38.7	19.4	13.6	951	468	146	108	87	80	715	821	1039	483	151	112	90	82	739	849
3	K0+506	41.2	17.7	12.6	264	149	74	54	43	39	189	208	276	144	72	53	42	38	184	202
4	K0+700	43.1	18.1	13.8	407	199	85	67	56	49	293	338	406	184	78	62	52	46	272	313
5	K0+898	40.7	17.9	13.4	341	194	111	90	73	64	270	300	398	190	109	89	72	63	265	295
6	K1+001	40.0	17.4	13.5	445	265	145	115	93	81	354	387	531	265	145	115	93	81	354	387
7	K1+091	38.8	17.3	13.7	562	189	76	61	50	43	350	406	692	195	78	63	51	44	361	418
8	K1+293	39.9	15.7	13.7	549	284	134	110	92	82	404	480	665	285	134	110	92	82	405	481
9	K1+496	40.0	16.4	14.0	421	195	72	50	38	34	295	344	506	195	72	50	38	34	295	344
10	K1+670	38.0	15.2	13.7	849	461	191	138	109	90	596	784	1082	484	201	145	115	94	627	825
11	K1+902	37.9	15.3	14.2	833	433	189	144	113	98	645	777	1087	457	199	152	119	104	680	820
12	K2+103	40.2	16.4	14.1	286	137	64	50	41	35	186	238	342	137	64	50	41	35	186	237
13	K2+287	38.5	16.7	14.6	650	322	144	108	85	75	481	544	811	335	149	112	89	78	500	565
14	K2+498	38.5	15.6	13.9	737	366	155	121	99	89	541	623	926	370	161	126	102	92	562	647
15	K2+695	37.9	16.1	14.3	771	333	154	113	85	70	483	551	1002	351	163	119	90	74	510	581
16	K2+890	38.2	16.2	13.8	810	473	221	160	123	109	612	726	1022	495	232	168	129	114	641	761
17	K3+099	43.2	15.3	13.9	499	238	85	63	51	46	363	394	560	220	79	58	47	42	337	365
18	K3+294	38.5	14.8	13.6	619	218	87	69	58	52	371	458	782	227	90	72	60	54	385	476
19	K3+499	37.1	15.1	13.3	1145	551	219	160	122	106	848	942	1500	595	237	172	131	115	916	1017
20	K3+879	39.5	17.2	17.0	648	339	148	113	90	78	461	534	708	344	150	114	91	79	467	541
21	K4+098	39.4	16.4	16.2	621	253	93	71	58	52	385	483	691	257	94	72	59	53	391	491
22	K4+297	38.5	17.1	16.9	768	277	88	64	54	50	499	631	860	287	92	66	56	52	518	656
23	K4+473	40.2	17.7	17.3	482	164	75	59	49	44	283	355	514	163	74	59	49	44	282	353
24	K4+698	40.2	18.1	17.3	464	165	69	53	43	38	282	350	492	164	69	53	43	37	280	348
25	K4+898	38.4	19.4	18.1	584	239	98	75	63	56	388	491	636	249	102	78	66	58	403	511
26	K5+084	38.7	19.7	17.4	612	234	101	81	66	60	425	518	660	242	104	83	68	62	439	536
27	K5+297	39.1	20.6	18.1	551	287	140	111	92	81	404	463	560	294	143	114	94	83	413	473
28	K5+491	38.6	19.7	18.4	578	288	129	90	67	58	411	474	625	298	133	94	69	60	425	491
29	K5+697	37.2	20.5	18.3	828	507	278	205	165	151	706	781	885	544	299	220	177	162	758	839
30	K5+897	41.1	22.3	18.9	336	132	61	48	39	34	220	270	317	128	59	47	38	33	214	263
31	K6+092	40.1	20.8	18.5	412	225	104	82	67	60	315	342	407	224	104	82	67	60	314	341
32	K6+299	39.3	21.7	19.0	533	243	90	72	57	53	364	430	532	247	92	73	58	54	371	438

33	K6+488	38.3	22.3	20.6	519	188	76	60	52	44	337	384	528	197	79	63	55	46	352	401
34	K6+699	38.5	23.0	20.6	439	210	88	67	59	56	314	370	440	218	91	70	61	58	327	384
35	K6+895	38.1	24.1	21.3	580	236	115	90	74	65	402	466	580	248	120	95	78	68	422	489
36	K7+100	38.3	22.7	22.3	636	351	141	96	79	75	412	627	644	367	148	100	82	79	431	656
37	K7+146	36.6	23.5	22.3	1111	473	115	88	69	63	866	1003	1166	517	126	96	76	69	948	1097
38	K7+303	39.9	23.2	23.1	688	238	91	70	56	49	452	539	665	239	91	70	56	49	453	541
39	K7+500	38.6	25.0	24.1	651	355	156	119	97	89	486	566	636	368	162	124	101	92	504	587
40	K7+696	39.4	26.0	24.3	466	191	112	93	78	68	295	362	440	194	114	94	80	69	300	368
41	K7+888	39.0	25.6	25.1	420	146	68	52	41	35	267	332	403	150	69	53	42	36	273	341
42	K8+095	38.8	28.7	25.2	596	343	155	113	82	69	455	533	552	354	160	117	85	71	469	550
43	K8+300	39.0	26.1	26.0	623	219	94	74	60	52	392	483	594	225	96	76	61	54	402	495
44	K8+490	37.9	29.9	26.5	647	208	73	55	43	39	400	491	604	219	77	58	46	42	422	518
45	K8+685	37.5	30.1	27.8	742	350	153	118	101	92	525	618	698	374	163	126	108	99	560	659
46	K8+897	36.7	31.4	27.1	854	459	185	118	89	78	678	715	805	499	201	128	97	85	738	778
47	K9+096	38.5	30.9	26.9	492	233	106	82	66	57	343	394	446	242	110	85	68	59	356	409
48	K9+291	37.9	32.5	27.3	680	274	118	90	71	61	437	532	612	288	124	95	74	64	461	561
49	K9+554	37.5	34.4	28.7	795	288	95	77	62	52	526	617	705	307	102	82	67	55	561	659
50	K9+688	37.9	32.6	23.7	762	304	104	74	56	47	515	623	686	320	110	78	59	50	543	657
51	K9+894	38.7	31.9	23.4	738	181	59	49	41	37	433	569	657	187	61	51	43	38	448	589
52	K10+099	39.9	32.8	24.0	459	132	42	33	28	24	266	341	391	132	42	33	28	24	267	342
53	K10+300	37.5	32.1	24.0	1017	388	151	104	77	65	711	788	932	414	161	111	82	70	758	840
54	K10+496	36.3	31.1	23.8	997	533	238	188	153	132	756	881	968	588	262	207	168	146	834	972
55	K10+690	39.1	30.4	23.4	591	250	105	78	62	55	388	458	531	256	107	80	64	56	397	469
56	K10+902	37.9	33.7	23.8	851	198	70	56	47	43	448	533	754	209	74	59	50	45	473	563
57	K11+090	39.7	33.5	23.9	541	216	95	71	56	48	319	391	459	217	96	72	57	49	321	394
58	K11+293	39.1	34.4	24.7	734	306	112	84	66	55	508	614	625	313	114	86	67	56	520	629
59	K11+489	36.7	33.8	24.2	1610	828	310	222	182	162	1300	1564	1459	904	338	243	199	176	1419	1706
60	K11+692	36.8	33.8	23.4	1041	388	105	77	63	57	659	832	940	422	114	84	69	62	717	905
61	K12+094	39.2	32.6	24.0	580	175	63	49	40	36	341	448	500	178	64	49	40	36	347	457
62	K12+501	36.8	32.4	23.7	1075	393	112	80	62	53	726	843	998	427	122	86	67	57	789	917
63	K12+697	39.4	32.2	23.1	736	268	103	76	58	50	457	583	641	272	105	77	59	51	465	592
64	K12+897	39.3	31.7	23.9	596	179	67	52	42	38	341	467	523	182	68	53	43	38	347	475
65	K13+098	38.3	32.2	23.4	759	277	99	76	62	56	469	585	680	290	104	79	65	59	490	611
66	K13+287	39.6	34.2	23.1	516	244	95	77	61	53	371	448	435	246	96	78	62	53	375	453
67	K13+501	40.3	31.8	24.6	384	130	57	42	33	29	199	268	329	129	57	42	33	29	198	266
68	K13+685	39.8	31.2	23.9	447	159	74	58	47	41	260	326	391	160	74	58	47	41	261	328
69	K13+900	40.5	28.9	23.4	353	86	34	28	22	20	172	247	312	85	34	28	22	20	170	244
70	K14+098	40.6	29.5	23.4	358	125	58	46	38	33	211	266	313	123	58	45	38	32	208	263
71	K14+298	38.4	31.7	24.3	782	355	193	155	126	109	565	660	702	369	201	162	131	113	588	687
72	K14+498	38.5	29.4	24.2	816	362	133	92	70	61	558	668	755	376	138	96	73	63	579	694
73	K14+699	39.5	34.8	23.4	626	261	119	87	66	54	397	514	523	264	120	88	66	55	402	520
74	K14+892	38.7	34.9	23.7	742	209	72	57	46	40	447	548	634	216	75	59	48	42	462	567
75	K15+093	38.2	33.7	23.6	775	284	134	109	85	70	488	617	682	298	141	114	89	73	512	647

76	K15+296	39.4	31.7	23.6	671	312	153	118	92	78	460	553	619	317	155	120	94	79	468	562
77	K15+499	38.7	31.3	23.6	757	339	138	99	75	69	535	630	713	350	142	103	77	71	553	651
78	K15+690	39.9	29.5	24.0	561	247	126	102	81	69	383	470	520	247	126	102	81	69	384	471
79	K15+898	38.8	32.6	23.7	811	345	128	90	70	61	552	681	753	356	132	93	72	63	569	703
80	K16+101	39.1	30.3	23.3	560	288	151	121	95	80	396	487	525	294	154	124	97	82	404	497
81	K16+285	43.1	29.8	23.4	592	230	136	109	85	72	336	419	485	213	126	101	79	67	312	388
82	K16+496	43.7	32.8	24.2	454	220	127	104	85	75	318	391	354	202	116	95	77	69	291	358
83	K16+695	39.2	32.8	23.9	453	226	116	88	69	60	329	377	394	231	118	90	71	61	336	385
84	K16+893	41.2	35.0	24.1	382	149	64	46	34	29	238	305	306	145	62	44	33	29	231	296
85	K17+098	40.8	34.9	24.1	402	132	51	40	33	30	244	299	325	129	50	39	32	29	239	293
86	K17+290	39.7	33.5	24.7	551	292	163	128	104	92	400	445	468	295	164	129	105	93	403	449
87	K17+502	40.7	33.0	25.2	410	146	65	54	45	40	255	315	342	143	63	53	45	40	251	310
88	K17+698	40.4	34.8	24.6	427	235	140	113	92	81	320	369	350	233	139	112	91	80	316	365
89	K17+900	39.7	33.9	24.6	499	224	96	71	55	47	350	411	421	226	97	72	56	48	352	414
90	K18+087	39.5	33.7	24.8	594	221	109	89	75	67	360	455	504	224	110	90	76	68	364	460
91	K18+281	40.1	34.4	24.2	528	178	74	59	48	41	313	407	437	178	73	59	48	41	312	406
92	K18+499	39.1	30.2	23.8	622	319	160	118	89	75	441	509	560	326	163	120	91	77	450	520
93	K18+718	40.4	34.3	24.5	367	131	55	42	35	30	226	279	302	130	55	42	35	30	223	276
94	K18+897	39.3	35.0	25.0	482	176	76	57	45	38	295	374	404	179	77	58	46	39	300	380
95	K19+082	40.4	33.6	24.2	552	221	96	73	57	51	362	452	460	219	95	72	57	50	358	448
96	K19+288	40.5	33.7	23.9	520	162	56	41	31	26	307	395	431	160	55	41	31	26	303	390
97	K19+498	39.9	31.6	23.6	597	224	99	77	62	55	375	452	517	224	99	77	63	55	375	452
98	K19+696	38.4	27.6	24.0	763	355	157	115	90	78	527	616	724	370	163	120	94	81	548	641
99	K19+900	40.3	34.7	23.6	348	113	46	36	29	25	198	251	286	112	46	35	29	25	197	249
100	K20+109	40.4	33.6	23.9	345	129	64	50	40	35	204	261	287	128	63	49	40	35	202	258
101	K20+298	39.1	28.6	24.0	609	293	153	120	94	80	430	510	561	300	156	123	96	81	439	522
102	K20+498	39.3	34.3	24.2	412	108	43	39	27	24	206	255	350	110	44	40	27	25	210	259
103	K20+698	38.0	34.9	23.4	831	382	147	101	73	60	592	691	722	401	154	106	76	63	622	727
104	K20+901	39.3	34.3	23.4	485	192	73	54	42	37	316	379	411	195	75	55	43	38	322	386
105	K21+100	38.1	33.1	22.8	643	240	102	79	64	54	398	512	572	252	107	83	67	57	417	537
106	K21+301	40.3	33.2	23.3	502	155	64	49	39	34	272	346	422	154	64	48	39	34	270	344
107	K21+500	39.4	34.3	23.2	678	244	85	64	51	44	407	527	574	248	86	65	52	45	414	536
108	K21+698	39.8	32.7	22.4	683	349	126	68	40	31	514	598	585	351	127	68	40	31	517	602
109	K21+899	39.1	34.9	23.1	562	255	96	73	60	53	379	472	474	261	98	75	62	55	388	483
110	K22+098	40.3	35.0	22.6	466	174	71	57	47	41	297	372	382	173	70	57	46	41	295	370
111	K22+298	40.2	33.7	22.8	575	317	168	131	105	92	434	487	480	316	168	131	105	92	432	485
112	K22+500	40.1	33.8	22.8	595	268	135	105	85	75	402	487	498	268	135	105	85	75	401	486
113	K22+699	39.1	27.9	22.8	713	332	135	100	77	66	508	586	662	340	138	102	79	67	521	600
114	K22+899	39.9	31.7	22.5	611	249	108	84	69	59	400	497	529	250	108	84	69	59	401	498
115	K23+102	40.5	35.0	22.9	460	209	118	96	78	69	297	355	374	207	116	95	78	68	294	351
116	K23+300	39.5	34.9	22.6	553	261	126	97	76	65	382	460	462	264	128	98	77	65	387	466
117	K23+500	40.3	34.6	22.3	443	226	125	102	85	75	327	378	365	224	124	102	84	74	325	376
118	K23+699	40.9	34.7	22.9	329	128	61	48	38	33	195	241	266	125	60	47	38	32	191	236

119	K23+899	39.5	34.8	22.4	540	185	78	60	49	43	318	373	451	187	79	61	49	43	322	378
120	K24+100	39.7	34.8	22.2	609	243	100	87	70	64	400	491	508	245	100	88	70	64	403	495
121	K24+299	40.0	29.3	22.4	647	265	84	64	54	50	457	536	576	265	84	64	54	50	457	537
122	K24+500	40.6	34.9	22.3	465	193	78	59	48	43	304	373	378	190	77	58	47	42	300	367
123	K24+701	40.7	32.3	22.4	506	181	72	57	46	41	311	378	426	178	71	56	46	40	306	372
124	K24+901	40.3	35.0	22.6	466	174	71	57	47	41	297	372	382	173	70	57	46	41	295	370
125	K25+102	40.2	33.7	22.8	575	317	168	131	105	92	434	487	480	316	168	131	105	92	432	485
126	K25+300	40.1	33.8	22.8	595	268	135	105	85	75	402	487	498	268	135	105	85	75	401	486
127	K25+506	39.1	27.9	22.8	713	332	135	100	77	66	508	586	662	340	138	102	79	67	521	600
128	K25+701	39.9	31.7	22.5	611	249	108	84	69	59	400	497	529	250	108	84	69	59	401	498
129	K25+899	40.5	35.0	22.9	460	209	118	96	78	69	297	355	374	207	116	95	78	68	294	351
130	K26+100	39.5	34.9	22.6	553	261	126	97	76	65	382	460	462	264	128	98	77	65	387	466
131	K26+303	40.3	34.6	22.3	443	226	125	102	85	75	327	378	390	224	124	102	84	74	325	376
132	K26+485	40.9	34.7	22.9	329	128	61	48	38	33	195	241	284	125	60	47	38	32	191	236
133	K26+700	39.5	34.8	22.4	540	185	78	60	49	43	318	373	482	187	79	61	49	43	322	378
134	K26+910	39.7	34.8	22.2	609	243	100	87	70	64	400	491	543	245	100	88	70	64	403	495
135	K27+100	40.0	29.3	22.4	647	265	84	64	54	50	457	536	600	265	84	64	54	50	457	537
136	K27+303	40.6	34.9	22.3	465	193	78	59	48	43	304	373	404	190	77	58	47	42	300	367
137	K27+510	40.7	32.3	22.4	506	181	72	57	46	41	311	378	449	178	71	56	46	40	306	372

8.1.2.3 Espesores del pavimento, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.

En esta tabla se presenta la tabla de espesores en el tramo, debido a que para la metodología de la AASTHO 93 se hace necesario conocer este dato, ver (Tabla anexo 10).

Tabla anexo 10. Espesores del pavimento, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.

Abscisa		Espesores de estructura de pavimento			
De	Hasta	MCD2 (m)	Carpeta existente mejorada (m)	Granulares	BEC (m)
K00+107	K0+145	0.10		0.55	
K00+145	K0+570	0.10		0.40	
K00+570	K0+730	0.10		0.45	
K00+730	K1+100	0.08		0.22	

K01+100	K1+440	0.06		0.34	
K01+440	K1+740	0.06		0.34	
K01+740	K2+000	0.05		0.25	
K02+000	K2+550	0.08		0.52	
K02+550	K2+850	0.04		0.36	
K02+850	K3+100	0.07		0.53	
K03+100	K3+550	0.07		0.28	
K03+550	K3+920	0.12		0.48	
K03+920	K4+253	0.10		0.14	
K04+253	K4+500	0.11		0.29	
K04+500	K5+000	0.12		0.10	
K05+000	K5+315	0.12		0.40	
K05+315	K5+660	0.12		0.40	
K05+660	K6+120	0.12		0.40	
K06+120	K6+370	0.16		0.29	
K06+370	K6+620	0.10		0.29	
K06+620	K7+080	0.10		0.29	
K07+080	K7+380	0.10		0.60	
K07+380	K7+840	0.10		0.60	
K07+840	K8+150	0.10		0.60	
K08+150	K8+600	0.10		0.30	
K08+600	K8+870	0.10		0.30	
K08+870	K9+153	0.10		0.30	
K09+153	K9+500	0.10		0.30	
K09+500	K10+010	0.10		0.40	
K10+010	K10+257	0.10		0.40	
K10+257	K10+410	0.10		0.40	
K10+410	K10+960	0.10		0.50	
K10+960	K11+450	0.10		0.60	
K11+450	K11+660	0.15		0.55	
K11+660	K12+170	0.15		0.55	
K12+170	K12+370	0.15		0.45	
K12+370	K12+570	0.10		0.45	
K12+570	K13+100	0.10		0.45	
K13+100	K13+250	0.10		0.45	
K13+250	K13+810	0.10		0.60	
K13+810	K14+110	0.10		0.40	
K14+110	K14+660	0.10		0.40	
K14+660	K14+850	0.10		0.60	
K14+850	K15+250	0.10		0.45	
K15+250	K15+410	0.08		0.22	
K15+410	K15+940	0.08		0.42	
K15+940	K16+200	0.08		0.60	

K16+200	K16+850	0.10		0.40	
K16+850	K17+000	0.10		0.40	
K17+000	K17+530	0.10		0.60	
K17+530	K17+740	0.10		0.60	
K17+740	K18+100	0.10		0.40	
K18+100	K18+560	0.10		0.60	
K18+560	K18+900	0.10		0.60	
K18+900	K19+500	0.10		0.60	
K19+500	K20+070	0.10		0.60	
K20+070	K20+470	0.10		0.60	
K20+470	K20+780	0.10		0.40	
K20+780	K21+100	0.10		0.40	
K21+100	K21+580	0.10		0.45	
K21+580	K21+840	0.10		0.50	
K21+840	K22+100	0.10		0.40	
K22+100	K22+600	0.10		0.35	
K22+600	K22+900	0.10		0.60	
K22+900	K23+290	0.10		0.50	
K23+290	K23+650	0.10		0.50	
K23+650	K23+850	0.10		0.60	
K23+850	K24+350	0.10		0.60	
K24+350	K24+770	0.10		0.50	
K24+770	K25+060	0.10		0.60	
K25+060	K25+440	0.10		0.60	
K25+440	K25+700	0.10		0.60	
K25+700	K26+150	0.10		0.60	
K26+150	K26+350	0.08		0.40	
K26+350	K26+960	0.08		0.38	
K26+960	K27+174	0.08		0.52	
K27+174	K27+510	0.08		0.60	

8.1.2.4 Sectorización deflectometría, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.

Para la identificación de tramos homogéneos con el fin de obtener de manera objetiva los tramos de análisis correctas estadísticamente. Este proceso, se llevó a cabo a través del

método de las diferencias acumuladas para la obtención de unidades homogéneas puntualizado por el Instituto Nacional de Vías el cual incluye una variable Z_x como medida estadística y el cual se puede evidenciar en el ítem 5.2.1 del marco conceptual. (INV E – 821, 2013), ver (Tabla anexo 11).

Tabla anexo 11. Sectorización deflectometría, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.

TRAMOS HOMOGÉNEOS POR EL METODO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS									RADIO DE CURVATURA		
ABSCISA (Km)	DEFLEXIÓN, D0 (µm)	NUMERO DE INTERVALO	DISTANCIA DE INTERVALO (Km)	DISTANCIA ACUMULADA	DEFLEXION PROMEDIO	AREA DEL INTERVALO REAL	AREA ACUMULADA	Z_x	DEFLEXIÓN, D0CT (1/100 mm)	DEFLEXIÓN D30c (1/100 mm) $R_c = (30^2) / (2 * (D_0 - d_30))$	RADIO DE CURVATURA
K0+107	515.6	1	0.190	0.19	515.62	97.97	97.97	-18.42	54.5	29.5	180
K0+297	951.2	2	0.209	0.40	733.43	153.29	251.25	6.84	103.9	51.1	85
K0+506	263.9	3	0.194	0.59	607.57	117.87	369.12	5.87	27.6	15.6	373
K0+700	407.2	4	0.198	0.79	335.53	66.44	435.56	-48.99	40.6	19.8	216
K0+898	341.4	5	0.103	0.89	374.27	38.55	474.11	-73.53	39.8	22.6	261
K1+001	444.8	6	0.090	0.98	393.07	35.38	509.48	-93.29	53.1	31.6	210
K1+091	562.4	7	0.202	1.19	503.56	101.72	611.20	-115.31	69.2	23.3	98
K1+293	548.9	8	0.203	1.39	555.63	112.79	723.99	-126.87	66.5	34.5	140
K1+496	420.9	9	0.174	1.56	484.89	84.37	808.36	-149.09	50.6	23.4	166
K1+670	848.6	10	0.232	1.80	634.75	147.26	955.62	-143.94	108.2	58.7	91
K1+902	832.6	11	0.201	2.00	840.61	168.96	1124.59	-98.11	108.7	56.6	86
K2+103	285.8	12	0.184	2.18	559.18	102.89	1227.48	-107.93	34.2	16.4	253
K2+287	650.2	13	0.211	2.39	468.00	98.75	1326.22	-138.44	81.1	40.2	110
K2+498	736.9	14	0.197	2.59	693.55	136.63	1462.85	-122.48	92.6	44.7	94
K2+695	770.9	15	0.195	2.78	753.87	147.01	1609.86	-94.93	100.2	43.3	79
K2+890	809.8	16	0.209	2.99	790.32	165.18	1775.03	-57.78	102.2	59.6	106
K3+099	498.9	17	0.195	3.19	654.30	127.59	1902.62	-49.64	56.0	26.7	154
K3+294	619.3	18	0.205	3.39	559.05	114.61	2017.23	-60.61	78.2	27.5	89
K3+499	1145.0	19	0.380	3.77	882.14	335.21	2352.44	41.82	150.0	72.2	58
K3+879	648.5	20	0.219	3.99	896.75	196.39	2548.83	104.06	70.8	37.0	133
K4+098	620.8	21	0.199	4.19	634.62	126.29	2675.12	108.44	69.1	28.1	110
K4+297	768.1	22	0.176	4.37	694.44	122.22	2797.34	122.85	86.0	31.0	82
K4+473	482.1	23	0.225	4.59	625.09	140.65	2937.99	125.67	51.4	17.5	133
K4+698	464.1	24	0.200	4.79	473.08	94.62	3032.60	97.77	49.2	17.5	142
K4+898	583.7	25	0.186	4.98	523.88	97.44	3130.04	81.27	63.6	26.1	120
K5+084	611.9	26	0.213	5.19	597.79	127.33	3257.37	78.12	66.0	25.3	111
K5+297	550.9	27	0.194	5.38	581.41	112.79	3370.17	72.08	56.0	29.2	168

K5+491	578.1	28	0.206	5.59	564.52	116.29	3486.46	62.18	62.5	31.1	143
K5+697	828.3	29	0.200	5.79	703.20	140.64	3627.10	80.30	88.5	54.1	131
K5+897	335.5	30	0.195	5.99	581.91	113.47	3740.57	74.32	31.7	12.4	233
K6+092	411.7	31	0.207	6.19	373.63	77.34	3817.91	24.86	40.7	22.2	244
K6+299	532.9	32	0.189	6.38	472.31	89.27	3907.18	-1.64	53.2	24.2	155
K6+488	519.2	33	0.211	6.59	526.03	110.99	4018.17	-19.90	52.8	19.2	134
K6+699	438.9	34	0.196	6.79	479.04	93.89	4112.06	-46.08	44.0	21.1	196
K6+895	579.9	35	0.205	6.99	509.40	104.43	4216.49	-67.23	58.0	23.6	131
K7+100	635.5	36	0.046	7.04	607.70	27.95	4244.44	-67.45	64.4	35.5	156
K7+146	1111.3	37	0.157	7.20	873.38	137.12	4381.56	-26.50	116.6	49.6	67
K7+303	688.3	38	0.197	7.39	899.80	177.26	4558.82	30.08	66.5	23.0	104
K7+500	650.7	39	0.196	7.59	669.54	131.23	4690.05	41.25	63.6	34.7	156
K7+696	465.8	40	0.192	7.78	558.29	107.19	4797.25	30.82	44.0	18.0	173
K7+888	419.9	41	0.207	7.99	442.85	91.67	4888.92	-4.31	40.3	14.0	171
K8+095	596.1	42	0.205	8.19	508.00	104.14	4993.06	-25.75	55.2	31.8	192
K8+300	623.3	43	0.190	8.38	609.73	115.85	5108.90	-26.29	59.4	20.9	117
K8+490	647.4	44	0.195	8.58	635.38	123.90	5232.80	-21.84	60.4	19.4	110
K8+685	741.9	45	0.212	8.79	694.69	147.27	5380.08	-4.43	69.8	33.0	122
K8+897	853.9	46	0.199	8.99	797.94	158.79	5538.87	32.46	80.5	43.3	121
K9+096	492.0	47	0.195	9.18	672.97	131.23	5670.10	44.24	44.6	21.1	192
K9+291	680.5	48	0.263	9.45	586.23	154.18	5824.28	37.31	61.2	24.6	123
K9+554	794.8	49	0.134	9.58	737.62	98.84	5923.12	54.06	70.5	25.5	100
K9+688	761.7	50	0.206	9.79	778.26	160.32	6083.44	88.20	68.6	27.3	109
K9+894	738.1	51	0.205	9.99	749.94	153.74	6237.18	116.35	65.7	16.1	91
K10+099	458.7	52	0.201	10.19	598.42	120.28	6357.46	113.51	39.1	11.2	161
K10+300	1016.8	53	0.196	10.39	737.74	144.60	6502.06	138.04	93.2	35.5	78
K10+496	997.0	54	0.194	10.58	1006.86	195.33	6697.39	214.54	95.8	51.2	101
K10+690	590.6	55	0.212	10.80	793.75	168.28	6865.66	252.95	53.1	22.5	147
K10+902	851.4	56	0.188	10.98	720.98	135.54	7001.21	273.33	75.4	17.5	78
K11+090	540.8	57	0.203	11.19	696.09	141.31	7142.51	290.28	45.9	18.3	163
K11+293	734.1	58	0.196	11.38	637.41	124.93	7267.44	295.15	62.5	26.0	123
K11+489	1609.9	59	0.203	11.59	1171.96	237.91	7505.35	408.70	145.9	75.0	64
K11+692	1040.6	60	0.402	11.99	1325.25	532.75	8038.10	695.20	94.0	35.0	76
K12+094	579.6	61	0.407	12.39	810.13	329.72	8367.82	775.60	50.0	15.1	129
K12+501	1074.7	62	0.196	12.59	827.15	162.12	8529.94	817.66	99.8	36.5	71
K12+697	735.8	63	0.200	12.79	905.26	181.05	8711.00	876.20	64.1	23.3	110
K12+897	595.6	64	0.201	12.99	665.73	133.81	8844.81	886.88	52.3	15.8	123
K13+098	759.5	65	0.189	13.18	677.55	128.06	8972.86	899.16	68.0	24.9	104
K13+287	515.6	66	0.214	13.39	637.54	136.43	9109.30	904.51	43.5	20.5	196
K13+501	384.3	67	0.184	13.58	449.96	82.79	9192.09	874.59	32.9	11.1	207
K13+685	447.0	68	0.215	13.79	415.67	89.37	9281.46	832.25	39.1	13.9	179
K13+900	353.1	69	0.198	13.99	400.05	79.21	9360.67	790.17	31.2	7.6	191
K14+098	357.6	70	0.200	14.19	355.35	71.07	9431.74	738.73	31.3	11.0	221

K14+298	781.6	71	0.200	14.39	569.60	113.92	9545.66	730.13	70.2	31.9	117
K14+498	816.4	72	0.201	14.59	798.96	160.59	9706.25	767.60	75.5	33.5	107
K14+699	625.9	73	0.193	14.79	721.11	139.17	9845.42	788.54	52.3	21.9	148
K14+892	741.9	74	0.201	14.99	683.90	137.46	9982.89	802.88	63.4	17.8	99
K15+093	775.0	75	0.203	15.19	758.44	153.96	10136.85	832.49	68.2	25.0	104
K15+296	670.8	76	0.203	15.39	722.88	146.75	10283.59	854.89	61.9	28.8	136
K15+499	757.2	77	0.191	15.58	713.99	136.37	10419.97	874.26	71.3	31.9	114
K15+690	560.8	78	0.208	15.79	659.00	137.07	10557.04	883.91	52.0	22.9	155
K15+898	811.0	79	0.203	15.99	685.93	139.24	10696.28	898.81	75.3	32.0	104
K16+101	559.6	80	0.184	16.18	685.29	126.09	10822.38	912.19	52.5	27.0	176
K16+285	591.6	81	0.211	16.39	575.56	121.44	10943.82	904.38	48.5	18.8	152
K16+496	454.2	82	0.199	16.59	522.86	104.05	11047.87	886.52	35.4	17.2	247
K16+695	453.4	83	0.198	16.79	453.77	89.85	11137.72	855.08	39.4	19.6	228
K16+893	382.0	84	0.205	16.99	417.70	85.63	11223.35	815.13	30.6	11.9	241
K17+098	401.8	85	0.192	17.18	391.92	75.25	11298.59	772.77	32.5	10.7	206
K17+290	551.4	86	0.212	17.40	476.63	101.05	11399.64	743.95	46.8	24.8	205
K17+502	410.2	87	0.196	17.59	480.82	94.24	11493.88	718.13	34.2	12.2	204
K17+698	427.2	88	0.202	17.79	418.72	84.58	11578.46	678.97	35.0	19.3	286
K17+900	499.1	89	0.187	17.98	463.17	86.61	11665.08	651.03	42.1	18.9	194
K18+087	593.6	90	0.194	18.17	546.35	105.99	11771.07	638.18	50.4	18.8	142
K18+281	527.8	91	0.218	18.39	560.71	122.23	11893.30	626.88	43.7	14.8	155
K18+499	622.0	92	0.219	18.61	574.93	125.91	12019.21	618.63	56.0	28.7	165
K18+718	366.8	93	0.179	18.79	494.41	88.50	12107.71	597.48	30.2	10.8	232
K18+897	482.1	94	0.185	18.98	424.43	78.52	12186.23	562.68	40.4	14.7	175
K19+082	552.2	95	0.206	19.18	517.14	106.53	12292.76	543.02	46.0	18.5	163
K19+288	519.9	96	0.210	19.39	536.07	112.57	12405.34	526.95	43.1	13.4	152
K19+498	597.2	97	0.198	19.59	558.55	110.59	12515.93	516.25	51.7	19.4	139
K19+696	763.0	98	0.204	19.79	680.09	138.74	12654.67	530.03	72.4	33.7	116
K19+900	348.2	99	0.209	20.00	555.63	116.13	12770.79	518.13	28.6	9.3	232
K20+109	345.2	100	0.189	20.19	346.71	65.53	12836.32	467.88	28.7	10.8	250
K20+298	609.3	101	0.200	20.39	477.27	95.45	12931.77	440.82	56.1	27.0	155
K20+498	412.5	102	0.200	20.59	510.92	102.18	13033.96	420.49	35.0	9.2	175
K20+698	831.1	103	0.203	20.79	621.79	126.22	13160.18	422.36	72.2	33.1	115
K20+901	485.1	104	0.199	20.99	658.11	130.96	13291.15	431.42	41.1	16.3	181
K21+100	643.1	105	0.201	21.19	564.13	113.39	13404.54	421.68	57.2	21.3	126
K21+301	502.4	106	0.199	21.39	572.77	113.98	13518.52	413.76	42.2	13.0	154
K21+500	678.4	107	0.198	21.59	590.42	116.90	13635.42	409.38	57.4	20.7	122
K21+698	682.8	108	0.201	21.79	680.59	136.80	13772.22	423.05	58.5	29.9	158
K21+899	561.6	109	0.199	21.99	622.17	123.81	13896.03	424.96	47.4	21.6	174
K22+098	466.1	110	0.200	22.19	513.84	102.77	13998.80	405.21	38.2	14.3	188
K22+298	574.8	111	0.202	22.39	520.45	105.13	14103.93	386.61	48.0	26.5	209
K22+500	595.4	112	0.199	22.59	585.09	116.43	14220.36	381.14	49.8	22.4	164
K22+699	712.7	113	0.200	22.79	654.05	130.81	14351.17	389.43	66.2	30.9	127

K22+899	611.4	114	0.203	23.00	662.05	134.40	14485.57	399.48	52.9	21.6	144
K23+102	459.7	115	0.198	23.19	535.56	106.04	14591.61	384.23	37.4	17.0	221
K23+300	552.7	116	0.200	23.39	506.22	101.24	14692.86	362.96	46.2	21.8	184
K23+500	443.0	117	0.199	23.59	497.84	99.07	14791.93	340.13	36.5	18.6	251
K23+699	328.7	118	0.200	23.79	385.83	77.17	14869.09	294.78	26.6	10.3	277
K23+899	540.0	119	0.201	23.99	434.34	87.30	14956.39	258.95	45.1	15.5	152
K24+100	609.3	120	0.199	24.19	574.68	114.36	15070.75	251.41	50.8	20.2	147
K24+299	646.9	121	0.201	24.39	628.14	126.26	15197.01	254.54	57.6	23.6	132
K24+500	464.6	122	0.201	24.59	555.75	111.71	15308.72	243.12	37.8	15.7	204
K24+701	506.2	123	0.200	24.79	485.39	97.08	15405.80	217.68	42.6	15.2	165
K24+901	466.1	124	0.201	25.00	486.16	97.72	15503.51	192.27	38.2	14.3	188
K25+102	574.8	125	0.198	25.19	520.45	103.05	15606.56	174.03	48.0	26	209
K25+300	595.4	126	0.206	25.40	585.09	120.53	15727.09	168.37	49.8	22.4	164
K25+506	712.7	127	0.195	25.59	654.05	127.54	15854.63	176.46	66.2	30.9	127
K25+701	611.4	128	0.198	25.79	662.05	131.09	15985.72	186.26	52.9	21.6	144
K25+899	459.7	129	0.201	25.99	535.56	107.65	16093.36	170.78	37.4	17.0	221
K26+100	552.7	130	0.203	26.20	506.22	102.76	16196.13	149.19	46.2	21.8	184
K26+303	443.0	131	0.182	26.38	497.84	90.61	16286.73	128.31	39.0	19.8	235
K26+485	328.7	132	0.215	26.59	385.83	82.95	16369.69	79.56	28.4	11.1	259
K26+700	540.0	133	0.210	26.80	434.34	91.21	16460.90	42.13	48.2	16.5	142
K26+910	609.3	134	0.190	26.99	574.68	109.19	16570.09	34.93	54.3	21.6	138
K27+100	646.9	135	0.203	27.20	628.14	127.51	16697.60	38.09	60.0	24.6	127
K27+303	464.6	136	0.207	27.40	555.75	115.04	16812.64	26.33	40.4	16.8	190
K27+510	506.2	137	0.207	27.61	485.39	100.48	16913.12	0.00	44.9	16.1	156

8.1.2.5 Módulo resiliente de retrocálculo, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.

Se presenta a continuación los valores de módulo resiliente de retrocálculo, en donde se analizan diferentes metodologías para encontrar dicho parámetro de la subrasante, ver (Tabla anexo 12; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla anexo 12. Módulo resiliente de retrocálculo, Popayán – El Tambo, carril izquierdo.

ABSCISA (m)	Módulo resiliente de retrocálculo (Kg/cm ²)				
	ASTHMO 93	LUKANEN	FHWA	YONOPAVE	WASDOT
K0+107	1515	827	1506	5814	2912
K0+297	1044	499	908	3511	2077
K0+506	2325	1456	2981	10229	4432
K0+700	2240	1174	2124	8366	3685
K0+898	1747	915	2387	7247	2615
K1+001	1230	684	1623	5322	2005
K1+091	1623	823	1209	6855	3677
K1+293	1211	635	1293	5173	2066
K1+496	1674	1113	1702	7986	4804
K1+670	771	418	757	3230	1602
K1+902	676	406	751	3320	1539
K2+103	2560	1339	2531	10720	4662
K2+287	1052	555	1022	4484	2082
K2+498	974	491	895	4041	1831
K2+695	880	481	815	4059	2000
K2+890	672	397	849	3063	1399
K3+099	2242	1056	1754	7145	3992
K3+294	1385	719	1117	5988	3175
K3+499	508	319	561	2584	1369
K3+879	1072	599	1262	4497	2035
K4+098	1253	779	1292	5963	3207
K4+297	1094	724	1014	5269	3426
K4+473	2008	1012	1769	8408	3894
K4+698	1994	1098	1851	8704	4407
K4+898	1260	753	1367	6098	2913
K5+084	1511	721	1328	6046	2774
K5+297	1116	658	1384	5051	2014
K5+491	1183	692	1444	5187	2570
K5+697	508	351	636	2540	1042
K5+897	2838	1464	1957	11542	4967
K6+092	1573	938	1798	6747	2833
K6+299	1740	864	1801	6537	3203
K6+488	1586	918	1766	7620	3573
K6+699	1723	949	1912	7244	3207
K6+895	1294	701	1439	5946	2430
K7+100	1057	653	1027	4431	2299
K7+146	1185	488	542	3410	2436
K7+303	1780	816	1037	6299	3347
K7+500	973	587	1019	4223	1861

K7+696	1411	817	1502	7074	2405
K7+888	2297	1159	1628	9704	4428
K8+095	905	648	987	4321	2077
K8+300	1414	800	924	6621	3053
K8+490	1410	897	883	7051	4065
K8+685	938	542	1030	4158	1784
K8+897	744	494	680	3240	1856
K9+096	1425	846	1623	6319	2742
K9+291	1248	682	1482	5385	2481
K9+554	1505	684	1272	5340	2826
K9+688	1403	718	1339	5195	3059
K9+894	2575	951	1426	7435	4499
K10+099	3897	1571	2473	11511	6959
K10+300	950	510	976	3862	2170
K10+496	564	344	575	2580	1102
K10+690	1483	819	1688	6141	2907
K10+902	2082	804	1153	6492	3845
K11+090	1685	944	2047	7095	3268
K11+293	1392	731	1342	5262	2728
K11+489	442	265	375	1821	934
K11+692	1319	581	584	4117	2742
K12+094	2492	1102	1171	8507	4685
K12+501	1232	558	550	3976	2727
K12+697	1532	776	916	5803	3087
K12+897	2351	1045	1122	8177	4391
K13+098	1503	722	839	5539	2905
K13+287	1687	922	1589	6545	3002
K13+501	2885	1495	2137	11559	5628
K13+685	2189	1142	1775	9242	3996
K13+900	4909	1938	2259	15553	8491
K14+098	2873	1477	2257	11951	5081
K14+298	780	479	1081	3815	1421
K14+498	1139	625	1105	4436	2479
K14+699	1341	795	1598	5816	2726
K14+892	2112	887	1290	6945	3932
K15+093	1108	588	1185	4975	2057
K15+296	1012	617	1310	4683	1956
K15+499	1109	621	1203	4558	2329
K15+690	1289	740	1806	5908	2287
K15+898	1201	640	1226	4597	2532
K16+101	1034	643	1325	4840	1890
K16+285	1397	827	1581	6471	2328
K16+496	1535	984	2125	6687	2431

K16+695	1355	874	1637	6244	2604
K16+893	2714	1534	3201	10820	5423
K17+098	3307	1583	2982	11933	5937
K17+290	838	664	1229	4201	1786
K17+502	2613	1303	1722	10442	4296
K17+698	981	817	1506	5004	2058
K17+900	1671	984	1805	6959	3298
K18+087	1467	797	1500	6540	2526
K18+281	2229	1090	1756	8573	3946
K18+499	884	638	1161	4489	1976
K18+718	3004	1558	2218	11839	5492
K18+897	2083	1111	1615	8614	4030
K19+082	1742	958	2055	7082	3255
K19+288	3010	1357	2202	9746	5878
K19+498	1638	867	1809	6768	3006
K19+696	961	563	1102	4240	1957
K19+900	3555	1750	2918	13533	6604
K20+109	2609	1463	2917	11475	4728
K20+298	867	630	1339	4858	1908
K20+498	3643	1455	2157	12693	6268
K20+698	1005	595	948	4096	2292
K20+901	2143	1136	2252	8276	4281
K21+100	1455	759	1573	6124	2801
K21+301	2587	1237	2254	9626	4813
K21+500	1863	896	1618	6553	3612
K21+698	1280	871	1072	4866	3882
K21+899	1619	897	1508	6280	3072
K22+098	2340	1185	1929	9043	4076
K22+298	977	660	1119	3982	1771
K22+500	1214	743	1533	5469	2208
K22+699	1155	650	1212	4741	2317
K22+899	1504	816	1796	6191	2732
K23+102	1418	894	1967	6647	2434
K23+300	1263	785	1470	5621	2385
K23+500	1325	857	1672	5536	2251
K23+699	2784	1570	3690	11927	4984
K23+899	2032	1039	2105	8144	3815
K24+100	1612	807	1794	6376	2650
K24+299	1934	916	1593	6395	3566
K24+500	2157	1187	2293	8405	3994
K24+701	2342	1153	2040	8714	4152
K24+901	2340	1185	2249	9043	4076
K25+102	835	660	1119	3982	1771

K25+300	1214	743	1533	5469	2208
K25+506	1155	650	1212	4741	2317
K25+701	1504	816	1796	6191	2732
K25+899	1163	894	1967	6647	2434
K26+100	1263	785	1470	5621	2385
K26+303	1325	837	1755	6137	2251
K26+485	2784	1525	2441	11841	4984
K26+700	2032	1008	1392	8009	3815
K26+910	1612	784	1241	6322	2650
K27+100	1934	900	1132	6318	3566
K27+303	2157	1151	2412	8344	3994
K27+510	2342	1125	2174	8595	4152

8.1.2.6 Resumen deflectometría Popayán – El Tambo, carril derecho.

Se genera una tabla resumen por sectores homogéneos, se aplica un 85 % de confiabilidad para calcular los límites de confianza, ver (Tabla anexo 13).

Tabla anexo 13. Resumen deflectometría módulo resiliente de retrocálculo (Mrr), Popayán – El Tambo, carril derecho.

Tramo Homogéneo			Deflectometría		Módulo resiliente de retrocálculo (Kg/cm ²)				
#	Abs Inicial	Abs Final	Do (µm)	RC	ASTHHO 93	LUKANEN	FHWA	YONOPAVE	WASDOT
1	K00+000	K06+000	694	143	1384	761	1383	5866	2800
2	K06+000	K08+000	573	151	1489	797	1381	6193	2870
3	K08+000	K10+217	607	129	1536	786	1256	5926	3133
4	K10+217	K14+054	661	124	1758	846	1214	6450	3367
5	K14+054	K18+803	494	170	1595	894	1637	6677	2982
6	K18+803	K24+004	466	171	1817	977	1814	7280	3458
7	K24+004	K27+510	464	172	1737	941	1736	6981	3164

Para calcular el módulo resiliente de la subrasante (Mr) se utilizó el factor de ajuste calculado en este documento, obteniendo los siguientes resultados, ver (Tabla anexo 14).

Tabla anexo 14. Resumen deflectometría módulo resiliente de la subrasante (Mr), Popayán – El Tambo, carril derecho.

Tramo Homogéneo			Deflectometría		Módulo resiliente de la subrasante (Kg/cm ²)				
#	Abs Inicial	Abs Final	Do (µm)	RC	ASTHMO 93	LUKANEN	FHWA	YONOPAVE	WASDOT
1	K00+000	K06+000	624	155	332	335	360	352	336
2	K06+000	K08+000	413	255	357	351	359	372	344
3	K08+000	K10+217	618	138	369	346	326	356	376
4	K10+217	K14+054	422	176	422	372	316	387	404
5	K14+054	K18+803	608	132	383	393	426	401	358
6	K18+803	K24+004	372	214	436	430	472	437	415
7	K24+004	K27+510	564	162	417	414	451	419	380

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en 14 pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWS) y el California Bearing Ratio (CBR).

8.2 Estudio Geotécnico Popayán – El Tambo.

8.2.1 Resumen resultados de laboratorio, Popayán - El Tambo.

Se organizó una tabla resumen con los resultados de laboratorio, para las muestras de los apiques realizados en el tramo Popayán – El Tambo, ver (Tabla anexo 15).

Tabla anexo 15. Tabla resumen resultados de laboratorio, Popayán - El Tambo.

N	Abscisa	Muestra No.	Profundidad (m)	Gravas						Arena				Limo Y Arcilla	Límites De Atterberg				Humedad Natural (%)	Materia Orgánica (%)	Clasificación SUCS	Masa Unitaria		C.B.R Natural %	C.B.R Saturado %
				3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200		LL	LP	IP	IC				Humedad (g/cm3)	Seca (g/cm3)		
1		1	0,10 - 0,65	100	100	100	100	65	65	40	30	19	9	NL	NP	NP	N/A	3		GW-GM	-	-	-	-	
	K00+145	2	0,65 - 10,5	100	100	100	100	100	93	85	72	49	21	NL	NP	NP	NA	7		SM	-	-	-	-	
		3	1,05 - 1,55	100	100	100	100	100	100	100	100	95	44	95	61	34	1	73		SM	-	-	-	-	
2		1	0,10 - 0,50	100	100	100	91	81	62	49	35	18	7	NL	NP	NP	N/A	4		GW-GM	-	-	-	-	
	K00+570	2	0,80 - 1,20	100	100	100	100	100	95	89	84	80	50	63	41	23	1	47		MH	-	-	-	-	
		3	1,30 - 1,50	100	100	100	100	100	100	99	97	91	76	72	46	26	1	46		MH	2	1	8	5	
3		1	0,10-0,55	100	72	72	62	58	50	44	36	25	10	NL	NP	NP	N/A	8		GP-GM	-	-	-	-	
	K00+730	2	0,55-1,10	100	100	100	100	100	97	94	82	59	69	49	20	0	64		MH	-	-	-	-		
		3	1,10 - 1,30	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	94	54	40	1	60		MH	2	1	11	7	

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en 14 pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWS) y el California Bearing Ratio (CBR).

4		1	0,08 - 0,30	10 0	10 0	10 0	88	81	62	48	35	18	7	NL	N P	N P	N/ A	8		GM	-	-	-	-
	K01+10 0	2	0,30 - 1,10	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	96	85	97	46	46	1	58		MH	-	-	-	-
		3	1,10 - 1,30	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	99	94	95	52	43	1	54		MH	2	1	12	10
5		1	0,06 - 0,40	10 0	10 0	10 0	87	73	54	44	34	23	10	NL	N P	N P	N/ A	7		GW-GM	-	-	-	-
	K01+44 0	2	0,40 - 1,00	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	98	94	40	99	64	35	1	73		SM	-	-	-	-
		3	1,00 - 1,20	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	86	38	12 5	74	51	1	85		SM	1	1	6	2
6		1	0,10 - 0,40	10 0	10 0	82	67	60	51	43	36	25	10	NL	N P	N P	N/ A	27		GP-GM	-	-	-	-
	K01+74 0	2	0,40 - 0,60	10 0	10 0	10 0	10 0	98	92	86	76	53	21	NL	N P	N P	N/ A	13		SM	-	-	-	-
		3	1,00 - 1,20	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	89	47	12 6	69	57	1	86		SM	1	1	7	4
7		1	0,05 - 0,30	10 0	10 0	10 0	84	82	70	60	50	35	16	NL	N P	N P	N/ A	8		SM	-	-	-	-
	K02+00 0	2	0,80 - 1,00	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	99	93	80	51	29	0	73		MH	1	1	4	3
8		1	0,08 - 0,60	10 0	10 0	10 0	89	84	74	66	54	38	17	NL	N P	N P	N/ A	9		SM	-	-	-	-
	K02+55 0	2	0,80 - 1,00	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	98	90	82	42	40	1	53		MH	2	1	12	9	
9		1	0,040 - 0,40	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	97	94	86	48	71	47	24	1	52		SM	-	-	-	-
	K02+85 0	2	0,60 - 0,80	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	50	21	98	67	30	1	81		SM	2	1	9	4	
10		1	0,07 - 0,60	10 0	10 0	96	92	79	65	56	45	30	13	38	25	13	2	13		GM	-	-	-	-
	K03+10 0	2	0,90 - 1,10	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	95	85	58	25	10 1	63	39	1	80		SM	2	1	4	2
11		1	0,01 - 0,28	10 0	10 0	10 0	73	59	46	43	39	32	16	33	22	11	2	9		GC	-	-	-	-
	K03+55 0	3	1,00 - 1,20	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	67	27					70		SM	2	1	7	5	
12		1	0,07 - 0,60	10 0	10 0	89	74	70	63	55	46	62	11	30	21	9	2	11		GP-GC	-	-	-	-
	K03+92 0	3	1,00 - 1,20	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	92	55	92	59	33	1	62		MH	2	1	7	2	

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en 14 pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWS) y el California Bearing Ratio (CBR).

13		1	0,10 - 0,24	10 0	10 0	10 0	89	74	65	59	51	37	17	27	22	5	3	11		SC-SM	-	-	-	-
	K04+25 3	2	0,70 - 0,90	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	92	74	33	12 9	70	59	1	85		SM	1	1	4	2
14		1	0,11 - 0,40	10 0	10 0	10 0	10 0	78	64	57	45	30	13	NL	N P	N P	N/ A	7		SM	-	-	-	-
	K04+60 3	2	0,60 - 0,80	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	98	77	25	15 1	81	69	1	90		SM	1	1	5	2
15		1	0,12 - 0,21	10 0	10 0	10 0	90	84	71	61	48	35	20	NL	N P	N P	N/ A	9		SM	-	-	-	-
	K05+00 0	2	0,60 - 0,80	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	97	91	91	46	45	1	60		MH	2	1	7	5
16		1	0,00 - 0,60	10 0	10 0	10 0	83	83	79	75	67	47	19	NL	N P	N P	N/ A	26	5	SM	-	-	-	-
	K05+31 5	2	0,70 - 0,90	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	99	96	73	42	32	0	63		MH	2	1	4	3
17		1	0,00 - 0,40	10 0	10 0	94	89	79	67	56	45	33	16	NL	N P	N P	N/ A	8		GM	-	-	-	-
	K05+66 0	2	0,60 - 0,80	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	96	86	83	51	32	0	70		MH	2	1	10	4
18		1	0,00 - 0,60	10 0	10 0	82	72	63	54	47	39	28	11	NL	N P	N P	N/ A	7	2	GW-GM	-	-	-	-
	K06+12 0	2	0,60 - 0,80	10 0	10 0	92	71	67	57	54	48	39	24	NL	N P	N P	N/ A	19		GM	-	-	-	-
		3	1,00 - 1,20	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	98	85	40	54	41	13	1	46		GM	2	1	2	1
19		1	0,16 - 0,45	10 0	10 0	79	69	59	52	45	36	25	10	NL	N P	N P	N/ A	9		GW-GM	-	-	-	-
	K06+37 0	2	0,70 - 0,90	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	97	88	11 0	61	49	1	60		MH	1	1	4	2
20		1	0,00 - 0,60	10 0	10 0	71	67	64	61	57	51	38	18	NL	N P	N P	N/ A	15		GM	-	-	-	-
	K06+62 0	2	0,80 - 1,20	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	91	53	26	72	46	26	1	56		MH	2	1	2	1
21		1	0,00 - 0,32	10 0	10 0	10 0	86	82	77	74	68	51	26	NL	N P	N P	N/ A	24	8	SM	-	-	-	-
	K07+08 0	2	0,40 - 0,60	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	98	95	70	43	27	1	50		MH	2	1	13	4
22		1	0,00 - 0,60	10 0	10 0	93	90	85	75	66	54	37	14	NL	N P	N P	N/ A	9		SM	-	-	-	-
	K07+38 0	3	1,00 - 1,20	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	92	34	89	72	17	N/ A	62		SM	1	1	5	2

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en 14 pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWS) y el California Bearing Ratio (CBR).

23		1	0,60 - 1,20	10 0	10 0	10 0	67	63	62	57	51	39	18	48	38	10	2	29	6	GM	-	-	-	-
	K07+840	2	1,30 - 1,50	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	98	92	80	59	80	65	15	N/A	72		ML	1	1	7	5
24		1	0,10 - 0,80	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	98	93	81	51	51	32	19	N/A	47		ML	-	-	-	-
	K08+150	2	0,80 - 1,00	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	98	94	81	52	48	32	16	N/A	45		ML	2	1	22	10
25		1	0,10 - 0,40	10 0	10 0	10 0	98	90	75	65	52	33	14	NL	NP	NP	N/A	9		SM	-	-	-	-
	K08+600	2	0,80 - 1,00	10 0	10 0	10 0	82	82	75	68	60	44	19	-	-	-	-	11		SM	2	2	5	3
26		1	0,10 - 0,40	10 0	10 0	10 0	90	80	60	50	38	23	9	NL	NP	NP	N/A	4		GP-GM	-	-	-	-
	K08+870	2	0,70 - 0,90	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	99	96	91	40	51	N/A	55		ML	2	1	9	6	
27		1	0,00 - 0,15	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	96	71	62	47	15	N/A	50		ML	-	-	-	-	
	K09+153	3	0,50 - 0,70	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	99	98	94	89	60	29	N/A	-		ML	2	1	7	6
28		1	0,10 - 0,40	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	98	95	82	57	30	27	N/A	43		ML	-	-	-	-
	K09+500	2	0,60 - 0,80	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	99	95	84	41	43	N/A	67		ML	2	1	10	6	
29		1	0,10 - 0,50	10 0	10 0	80	80	76	67	59	49	35	12	NL	NP	NP	N/A	8	2	SP-SM	-	-	-	-
	K10+010	3	0,80 - 1,00	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	98	86	59	12	NL	NP	NP	N/A	77		SP-SM	1	1	3	2
30		1	0,05 - 0,70	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	97	78	48	48	22	26	N/A	31		SM	-	-	-	-
	K10+257	2	0,70 - 0,90	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	96	91	86	63	28	41	21	20	N/A	19		SM	2	2	5	1
31		1	0,25 - 0,80	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	98	96	85	54	54	30	24	N/A	42		CH-MH	-	-	-	-
	K10+410	2	1,00 - 1,20	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	98	88	55	51	31	20	N/A	39		CL	2	1	2	1	
32		1	0,10 - 0,60	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	84	82	78	69	49	53	30	23	N/A	35		SM	-	-	-	-
	K10+960	2	0,80 - 1,00	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	97	95	88	71	45	52	27	25	N/A	28		SM	2	2	2	1

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en 14 pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWS) y el California Bearing Ratio (CBR).

33		1	0,00 - 1,00	100	100	100	100	100	98	97	95	86	59	59	36	23	N/A			MH	-	-	-	-
	K11+450	2	1,00 - 1,20	100	100	100	100	100	100	100	100	94	62	34	17	17	N/A	30		CL	2	2	2	2
34		1	0,15 - 0,70	100	100	100	100	100	96	95	95	90	80	80	34	47	N/A	-		CH	-	-	-	-
	K11+660	2	0,70 - 0,90	100	100	100	100	100	100	99	98	92	80	64	31	33	N/A	47		CH-MH	2	1	4	3
35		1	0,00 - 0,45	100	100	86	79	78	64	51	40	26	9	NL	NP	NP	N/A	12		GW-GM	-	-	-	-
	K12+170	3	1,00 - 1,20	100	100	100	100	100	100	100	100	98	91	79	46	33	N/A	71		MH	2	1	4	3
36		1	0,00 - 0,70	100	100	100	100	100	100	100	99	98	94	78	43	36	N/A	61		MH	-	-	-	-
	K12+370	2	1,00 - 1,20	100	100	100	100	100	100	100	99	90	44	80	61	19	N/A	74		SM	1	1	1	1
37		1	0,00 - 0,80	100	100	100	100	100	100	100	98	94	81	59	34	25	N/A	48		MH	-	-	-	-
	K12+570	2	0,80 - 1,00	100	100	100	100	100	100	100	99	96	84	73	38	35	N/A	50		MH	2	2	5	3
38		1	0,00 - 0,50	100	100	100	100	100	100	100	100	98	81	58	29	29	N/A	44		CH-MH	-	-	-	-
	K13+100	2	0,50 - 0,70	100	100	100	100	100	100	100	99	95	74	75	37	39	N/A	49		MH	2	1	7	3
39		1	0,10 - 0,40	100	100	100	100	91	79	74	67	52	26	49	35	14	N/A	25		SM	-	-	-	-
	K13+250	2	0,40 - 0,80	100	100	100	100	100	100	100	100	96	69	61	45	16	N/A	53		MH	-	-	-	-
		3	0,80 - 1,00	100	100	100	100	100	100	100	98	93	76	-	-	-	-	-		-	2	1	7	3
40		1	0,00 - 0,60	100	100	100	100	100	83	82	81	78	32	81	63	19	N/A	50		SM	-	-	-	-
	K13+810	2	0,60 - 0,80	100	100	100	100	100	100	100	98	90	31	-	-	-	-	73	15	SM	1	1	3	1
41		1	0,00 - 0,40	100	100	100	89	86	66	52	37	23	13	43	22	21	N/A	14		GM	-	-	-	-
	K14+110	2	0,60 - 0,80	100	100	100	100	100	100	99	97	94	87	-	-	-	-	55	5	-	2	1	8	4
42		1	0,50 - 0,70	100	100	100	100	100	100	100	99	98	94	79	50	29	N/A	53		MH	2	1	10	4
	K14+660	2	0,70 - 1,50	100	100	100	100	100	100	100	100	99	95	92	55	36	N/A	55		MH	-	-	-	-

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en 14 pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWS) y el California Bearing Ratio (CBR).

43	K14+850	1	0,10 - 1,50	100	94	94	82	75	59	48	36	22	10	NL	NP	NP	N/A	5		GW-GM	-	-	-	-
44		1	0,10 - 0,55	100	100	100	100	95	84	74	61	41	16	NL	NP	NP	N/A	11		SM	-	-	-	-
	K15+250	2	0,80 - 1,00	100	100	100	100	100	100	100	100	99	91	92	53	38	N/A	53		MH	2	1	6	2
45		1	0,08 - 0,30	100	100	100	100	100	84	76	65	47	24	37	18	20	N/A	19		SM	-	-	-	-
	K15+410	2	0,60 - 0,80	100	100	100	100	100	100	100	100	99	93	88	58	31	N/A	66		MH	2	1	13	3
46		1	0,08 - 0,50	100	100	100	79	68	50	42	33	21	10	NL	NP	NP	N/A	5		GW-GM				
	K15+940	2	0,70 - 0,90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	118	52	66	N/A	64		MH	2	1	17	4
47		1	0,00 - 0,20	100	100	100	83	73	64	56	47	34	20	26	16	10	N/A	9		GC				
	K16+200	2	0,20 - 0,50	100	100	100	100	100	100	93	90	82	64	58	33	25	N/A	43		MH				
		4	1,00 - 1,20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	49	80	67	13	N/A	70		SM	2	1	2
48	K16+850	1	0,10 - 0,50	100	100	100	95	94	89	80	55	32	16	NL	NP	NP	N/A	17		SM				
		2	0,80 - 1,00	100	100	100	100	100	100	100	99	96	49	81	64	17	N/A	82		SM	1	1	4	2
49	K17+000	1	0,15 - 0,90	100	100	100	100	100	93	85	69	51	32	NL	NP	NP	N/A	19		SM				
		2	1,00 - 1,20	100	100	100	100	100	100	100	99	99	94	96	45	51	N/A	55		MH	2	1	6	2
50		1	0,10 - 1,00	100	100	100	94	94	88	79	54	31	15	NL	NP	NP	N/A	18		SM				
	K17+530	2	1,10 - 1,30	100	100	100	100	100	100	100	98	97	94	89	42	47	N/A	59		MH	2	1	4	1
51		1	0,00 - 0,40	100	100	100	100	100	98	97	95	89	59	60	44	16	N/A	57		MH				
	K17+740	2	0,40 - 0,90	100	100	100	100	100	99	93	73	49	26	36	27	8	N/A	27		SM				
		3	0,90 - 1,10	100	100	100	100	100	92	89	87	80	53	49	29	20	N/A	34		ML	2	1	11	2
52		1	0,10 - 0,50	100	100	100	95	91	87	82	64	40	22	NL	NP	NP	N/A	16		SM				

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en 15 pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWS) y el California Bearing Ratio (CBR).

	K21+58 0	2	0,50 - 0,70	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	98	91	96	58	38	N/ A	65		MH	2	1	3	2	
6 2		1	0,10 - 0,60	10 0	10 0	10 0	98	91	78	67	52	33	19					11		SM					
	K21+84 0	2	0,60 - 0,80	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	99	95	-	-	-	N/ A	52		ML	2	1	7	5	
6 3		1	0,10 - 0,40	10 0	10 0	10 0	93	84	76	65	49	29	16					5		SM					
	K22+10 0	2	0,50 - 0,70	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	99	95	85	59	26	N/ A	63		MH	2	1	12	6	
6 4		1	0,10 - 0,45	10 0	10 0	10 0	97	94	81	71	56	34	16					8		SM					
	K22+60 0	2	0,60 - 0,80	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	99	94	72	42	30	N/ A	58		MH	2	1	8	3	
6 5		1	0,20 - 0,80	10 0	10 0	10 0	92	88	76	65	49	31	15					9		SM					
	K22+90 0	2	0,80 - 1,00	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	97	95	92	88	70	36	33	N/ A	47		MH	2	1	6	3	
6 6		1	0,00 - 0,20	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	96	89	72	34	49	35	14	N/ A	33		SM					
	K23+29 0	2	0,40 - 0,60	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	98	76	30	97	76	21	N/ A	70		SM	1	1	4	1	
6 7		1	0,10 - 0,50	10 0	10 0	10 0	94	80	73	58	48	35	21	12	35	19	16	N/ A	5		GW-GC				
	K23+65 0	2	0,50 - 0,70	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	97	86	74	41	34	N/ A	56		MH	2	1	3	2	
6 8		1	0,10 - 0,70	10 0	10 0	10 0	94	88	75	65	50	30	15					6		SM					
	K23+85 0	2	0,70 - 0,90	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	98	98	97	95	80	68	39	29	N/ A	23		MH	2	2	4	3	
6 9		1	0,10 - 0,80	10 0	10 0	10 0	93	84	65	53	38	24	15	NL	N P	N P	N/ A	6		GM					
	K24+35 0	2	0,80 - 1,00	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	99	96	82	41	90	66	24	N/ A	62		SM	2	1	2	1		
7 0		1	0,05 - 0,40	10 0	10 0	10 0	91	85	70	57	41	25	14	NL	N P	N P	N/ A	6		GM					
	K24+77 0	2	0,40 - 0,90	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	90	75	57	36	19	NL	N P	N P	N/ A	10		SM					
		3	0,90 - 1,10	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100	98	64	84	70	14	N/ A	80		MH	1	1	1	1		

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en 15 pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWS) y el California Bearing Ratio (CBR).

71		1	0,00 - 0,60	100	100	100	100	100	87	76	63	46	25	55	43	11	N/A	25		SM				
	K25+060	2	0,60 - 0,80	100	100	100	100	100	100	100	98	87	55	61	43	17	N/A	86		MH				
72		1	0,10 - 0,30	100	100	100	93	90	75	61	46	30	16	NL	NP	NP	N/A	8		SM				
	K25+440	2	0,30 - 0,80	100	100	100	100	93	84	75	66	48	23	34	23	11	N/A	13		SC				
		3	0,80 - 1,00	100	100	100	100	100	100	99	98	93	40	81	60	20	N/A	69		MH	2	1	3	2
73		1	0,00 - 0,25	100	100	100	88	85	69	59	48	30	13								1	1	5	2
	K25+700	2	0,25 - 0,55	100	100	100	90	84	71	59	44	29	20	NL	NP	NP	N/A	8		SM				
		4	1,00 - 1,20	100	100	100	100	100	100	100	100	95	63					66			1	1	5	2
74		1	0,00 - 0,20	100	100	100	80	68	54	46	37	24	12	NL	NP	NP	N/A	6		GW-GM				
		2	0,20 - 0,50	100	100	100	100	91	80	72	61	43	25	NL	NP	NP	N/A	10		SM				
	K26+150	3	0,50 - 0,90	100	100	100	97	93	83	75	64	41	21	NL	NP	NP	N/A	6		SM				
		4	1,00 - 1,20	100	100	100	100	100	100	100	99	93	39	64	51	13	N/A	70		SM	1	1	4	1
75		1	0,00 - 0,70	100	100	100	100	100	94	88	79	56	28	66	47	19	N/A	46		MH	2	1	7	5
	K26+350	2	0,70 - 0,90	100	100	100	100	100	100	99	98	96	91	76	47	29	N/A	63		MH	2	1	7	5
76		1	0,08 - 0,46	100	100	100	96	90	80	71	60	43	24	NL	NP	NP	N/A	10		SM				
	K26+960	2	0,60 - 0,80	100	100	100	100	100	100	100	100	94	58	74	57	17	N/A	67		MH	2	1	4	2
77		1	0,08 - 0,60	100	100	100	87	79	64	54	10	27	12	NL	NP	NP	N/A	6		GW-GM				
	K27+174	2	0,60 - 0,80	100	100	100	100	100	100	100	100	97	80	71	48	22	N/A	61		MH	2	1	4	2
78		1	0,00 - 0,23	100	100	100	100	100	100	97	92	80	46	59	43	16		40		SM				
	K27+500	2	0,26 - 0,80	100	100	100	100	100	100	100	100	99	82	73	47	26		61		MH				
		3	0,80 - 1,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	80	69	43	26	N/A	54		MH	2	1	6
79		1	0,00 - 0,30	100	100	100	100	100	94	86	75	52	27	NL	NP	NP	N/A	30		SM	1	1	8	5

8.2.2 Sectorización ensayo de CBR, Popayán – El Tambo.

Para la identificación de tramos homogéneos con el fin de obtener de manera objetiva los tramos de análisis correctas estadísticamente. Este proceso, se llevó a cabo a través del método de las diferencias acumuladas para la obtención de unidades homogéneas puntualizado por el Instituto Nacional de Vías el cual incluye una variable Z_x como medida estadística y el cual se puede evidenciar en el ítem 5.2.1 del marco conceptual. (INV E – 821, 2013), ver (Tabla anexo 16).

Tabla anexo 16. Sectorización ensayo de CBR, Popayán – El Tambo.

Abscisa	CBR (%)	# Intervalo	Dist. entre intervalo	Distancia acumulada entre Intervalos	Intervalo promedio	Área del Intervalo	Área acumulada	Z_x
k0+570.000	5	1	160	160	5	800	800	335.508
k0+730.000	7	2	370	530	6	2220	3020	1481.37
k1+100.000	10	3	340	870	8.5	2890	5910	3384.325
k1+440.000	2	4	300	1170	6	1800	7710	4313.402
k1+740.000	4	5	260	1430	3	780	8490	4338.602
k2+000.000	3	6	550	1980	3.5	1925	10415	4666.911
k2+550.000	9	7	300	2280	6	1800	12215	5595.988
k2+850.000	4	8	250	2530	6.5	1625	13840	6495.22
k3+100.000	2	9	450	2980	3	1350	15190	6538.836
k3+550.000	5	10	370	3350	3.5	1295	16485	6759.698
k3+920.000	2	11	333	3683	3.5	1165.5	17650.5	6958.474
k4+253.000	2	12	350	4033	2	700	18350.5	6642.398
k4+603.000	2	13	397	4430	2	794	19144.5	6283.877
k5+000.000	5	14	315	4745	3.5	1102.5	20247	6471.908
k5+315.000	3	15	345	5090	4	1380	21627	6850.347
k5+660.000	4	16	460	5550	3.5	1610	23237	7124.932
k6+120.000	1	17	250	5800	2.5	625	23862	7024.164
k6+370.000	2	18	250	6050	1.5	375	24237	6673.395
k6+620.000	1	19	460	6510	1.5	690	24927	6027.98
k7+080.000	4	20	300	6810	2.5	750	25677	5907.058
k7+380.000	2	21	460	7270	3	1380	27057	5951.643

k7+840.000	5	22	310	7580	3.5	1085	28142	6136.69
k8+150.000	10	23	450	8030	7.5	3375	31517	8205.306
k8+600.000	3	24	270	8300	6.5	1755	33272	9176.475
k8+870.000	6	25	283	8583	4.5	1273.5	34545.5	9628.405
k9+153.000	6	26	347	8930	6	2082	36627.5	10703.04
k9+500.000	6	27	510	9440	6	3060	39687.5	12282.47
k10+010.000	2	28	247	9687	4	988	40675.5	12553.41
k10+257.000	1	29	153	9840	1.5	229.5	40905	12338.74
k10+410.000	1	30	550	10390	1	550	41455	11292.05
k10+960.000	1	31	490	10880	1	490	41945	10359.54
k11+450.000	2	32	210	11090	1.5	315	42260	10064.9
k11+660.000	3	33	510	11600	2.5	1275	43535	9859.327
k12+170.000	3	34	200	11800	3	600	44135	9878.712
k12+370.000	1	35	200	12000	2	400	44535	9698.097
k12+570.000	3	36	530	12530	2	1060	45595	9219.467
k13+100.000	3	37	150	12680	3	450	46045	9234.006
k13+250.000	3	38	560	13240	3	1680	47725	9288.284
k13+810.000	1	39	300	13540	2	600	48325	9017.361
k14+110.000	4	40	1140	14680	2.5	2850	51175	8557.855
k15+250.000	4	41	160	14840	4	640	51815	8733.363
k15+410.000	4	42	530	15370	4	2120	53935	9314.733
k15+940.000	2	43	260	15630	3	780	54715	9339.934
k16+200.000	3	44	650	16280	2.5	1625	56340	9077.935
k16+850.000	4	45	150	16430	3.5	525	56865	9167.474
k17+000.000	1	46	530	16960	2.5	1325	58190	8953.844
k17+530.000	2	47	210	17170	1.5	315	58505	8659.198
k17+740.000	2	48	360	17530	2	720	59225	8334.091
k18+100.000	1	49	460	17990	1.5	690	59915	7688.676
k18+560.000	2	50	340	18330	1.5	510	60425	7211.631
k18+900.000	1	51	600	18930	1.5	900	61325	6369.785
k19+500.000	2	52	210	19140	1.5	315	61640	6075.14
k19+710.000	0.5	53	360	19500	1.25	450	62090	5480.033
k20+070.000	2	54	400	19900	1.25	500	62590	4818.802
k20+470.000	2	55	630	20530	2	1260	63850	4249.865
k21+100.000	3	56	480	21010	2.5	1200	65050	4056.389
k21+580.000	4	57	260	21270	3.5	910	65960	4211.589
k21+840.000	0	58	260	21530	2	520	66480	3976.79
k22+100.000	2	59	500	22030	1	500	66980	3025.252
k22+600.000	2	60	300	22330	2	600	67580	2754.33
k22+900.000	5	61	390	22720	3.5	1365	68945	2987.13
k23+290.000	6	62	360	23080	5.5	1980	70925	3922.023

Comparación de algunas de las metodologías empleadas para la obtención del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles con información obtenida a través del deflectómetro de impacto (FWS) y el California Bearing Ratio (CBR).

k23+650.000	3	63	200	23280	4.5	900	71825	4241.408
k23+850.000	3	64	500	23780	3	1500	73325	4289.87
k24+350.000	1	65	420	24200	2	840	74165	3910.579
k24+770.000	2	66	670	24870	1.5	1005	75170	2970.518
k25+440.000	3	67	260	25130	2.5	650	75820	2865.719
k25+700.000	1	68	450	25580	2	900	76720	2459.335
k26+150.000	1	69	200	25780	1	200	76920	2078.72
k26+350.000	0	70	610	26390	0.5	305	77225	612.8441
k26+960.000	2	71	214	26604	1	214	77439	205.586
k27+174.000	2	72	326	26930	2	652	78091	-88.8166
k27+500.000	1	73	90	27020	1.5	135	78226	-215.093
k27+590.000	5	74	310	27330	3	930	79156	-185.047
k27+900.000	2	75	310	27640	3.5	1085	80241	0

9. Lista de referencias

Instituto Nacional de Vías –INVIAS–. Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos. Bogotá. 2008. 570 p.

M. Salgado Torres. Posibles factores que inciden en el valor de las mediciones de deflexión de un pavimento. Simposio de Ingeniería de Pavimentos. Popayán. Universidad del Cauca. 2002.

Guzmán Suárez, E.A., 2009. Evaluación estructural de pavimentos flexibles a partir de información tomada con el deflectómetro de impacto. XVII Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos, Universidad EAFIT, Colombia

Del Aguila Rodríguez, P., 2007. Determinación del módulo resiliente del suelo de fundación mediante método mecanístico-empírico: Método Hogg Simplificado. Ponencia presentada al XIV Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, La Habana, Cuba. Disponible en <http://www.camineros.com/docs/cam057.pdf>, 17 pp.

AASHTO. Guide for Design of Pavements Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington DC, 1993.

C. H. Higuera Sandoval. Mecánica de pavimentos – Principios básicos. Escuela de Transporte y Vías. Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. ISBN 978-958-660-122-1. 2008. 361 p.

E. A. Guzmán Suárez. “Evaluación estructural de pavimentos flexibles a partir de información tomada con deflectómetro de impacto”. Congreso de Pavimentos. Medellín. 2009.

Asphalt Institute, 2000. Manual Series-17: Asphalt overlays for highway and street rehabilitation (9th ed.). Disponible en http://www.asphaltinstitute.org/wp-content/uploads/public/engineering/SW_1_Users_Guide_ver_103.pdf.

Montejo Fonseca, A., 2002. Ingeniería de pavimentos para carreteras (2nd ed.). Bogotá, D.C: Agora Editores.

K. P. George. Falling Weight Deflectometer for Estimating Subgrade Resilient Moduli. Universidad de Mississippi, Estados Unidos. 2003.

M. P. Acevedo y otros. Relación entre el módulo resiliente determinado mediante el deflectómetro de impacto y el de laboratorio. Universidad Técnica Federico Santa María –

Chile.

C. H. Higuera Sandoval. Mecánica de pavimentos – Principios básicos. Escuela de Transporte y Vías. Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. ISBN 978-958-660-122-1. 2008. 361 p.

Rondón, H.A. (2008). Comportamiento de un material granular no tratado en ensayos triaxiales cíclicos con Presión de Confinamiento Constante (PCC) y variable (PCV). Tesis de Doctorado, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.

Drumm, E.C., Boateng-Poku, Y. & Pierce, T.J. (1990). Estimation of subgrade resilient modulus from standard tests. *Journal of Geotechnical Eng*, 116(5), 774-789.

Shell International Petroleum Company (1978). Shell Pavement design manual, asphalt pavement and overlays for road traffic, London.

Uzan, J., Ishai, I., Hoffman, M., Wiseman, G. & Livneh, M. (1977). Application of elasticity models for evaluation of flexible pavements. Research Report No. 77-2, Technion, Israel Institute of Technology, Transportation Research Institute.

Austroroads (1992). Pavement design, a guide to the structural design of road pavement, Austroroads. Sydney, Australia.

Ayres, M. (1997). Development of a rational probabilistic approach for flexible pavements analysis. PhD Thesis, University of Maryland, USA.

Brown, S.F., O'Reilly, M.P. (1990). The relationship between Californian Bearing Ratio and elastic stiffness for compacted clays. *Ground Engineering*, 23(8), 27-31.

CONSORCIO DESARROLLO PACÍFICO (2021). Prediseño de pavimentos e identificación, estudio y análisis fuentes de materiales, estudios y diseños de factibilidad de infraestructura vial en el marco del proyecto de regalías construcción de la conexión Popayán – Guapi sector Popayán - El Tambo – el Plateado- Guapi y conexión Argelia – el Plateado en el departamento del Cauca, Bogotá D.C., Colombia.

Instituto Mexicano del Transporte (IMT) (1998). Evaluación estructural no destructiva de pavimentos. Sanfandila: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Instituto Mexicano del Transporte (IMT) (2000). Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares. Sanfandila: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Lekarp F., Isacson U., Dawson A. 2000. State of the art I: Resilient response of unbound aggregates. *Journal of transportation engineering*, February 2000.

INVIAS (2007), Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito.