



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

USO DE SUELOS ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA COMO PARTE DE LA ESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS TERCIARIAS Y VECINALES

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero Civil

Autores:

Jonny Eduardo Garzón Vera

CI: 1400718977

Correo electrónico: jonny_4991@hotmail.com

Ronald René Plaza Solís

CI: 0107431538

Correo electrónico: ronald.plrw@gmail.com

Directora:

Ing. Karla Johanna Santacruz Reyes., PhD

CI: 0301731394

Cuenca, Ecuador

01-febrero-2021



RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se examina la viabilidad del uso de emulsión asfáltica como estabilizante en carreteras terciarias, las cuales comúnmente se encuentran conformadas con una capa de grava-arcilla como superficie de rodadura. El estudio fue realizado en la provincia del Azuay con datos aportados por la Prefectura de la provincia. Con el objeto de analizar la viabilidad se propusieron dos enfoques. Con el primer enfoque se identificó el estado del arte respecto a bibliografía existente como criterios para estabilización, casos de aplicación en la región y normativas vigentes de diferentes países. El segundo enfoque consistió en medir el desempeño funcional y estructural de carreteras estabilizadas realizadas con anterioridad. Para la evaluación funcional se optó por realizar ensayos del Índice de Condición del Pavimento (PCI), el cual se basa en obtener un valor de la observación directa de patógenos presentes en la superficie del pavimento. Mientras tanto, para la evaluación estructural se realizaron ensayos de deflectometría con ayuda de la Viga Benkelman. Para cumplir el estudio mencionado se tomaron las carreteras Ricaurte-Llacao y Monay-El Valle a las que previamente se les realizó este tipo de estabilización en el año 2019.

Los resultados obtenidos para comprobar la viabilidad de la tecnología arrojaron resultados diversos. Según la revisión bibliográfica, la técnica de estabilización es muy usada en carreteras dentro del país y la región, especialmente en carreteras terciarias donde al aumentar la capacidad de las capas granulares se puede hacer uso de capas de rodadura de poco espesor. En lo que respecta a normativas, se restringe al tipo de suelo que debería usarse para mezclarlo con emulsión, especialmente en lo que se refiere a límites líquidos con valores máximos de entre 20 y 40, y límites plásticos de entre 9 a 18. Sin embargo, este es un campo en donde se recomienda profundizar la investigación para cada caso con el fin de determinar la mejoría real del suelo.

En la segunda parte del presente trabajo, en cuanto al desempeño funcional de las vías estudiadas, los resultados muestran para la carretera Ricaurte-Llacao un PCI igual a 48 que corresponde al estado “Regular”; para la carretera Monay-El Valle un valor de PCI igual a 60 que corresponde al estado “Bueno”. Al analizar los tipos de falla y sus causas, se determinó que muchas no dependen de la capa estabilizada, sino de la capa de rodadura y del incremento del tránsito. Con respecto a la evaluación estructural, se determinó que los valores de las deflexiones recuperables máximas en las carreteras se encuentran por debajo de los límites establecidos por varios autores. Se determinó además el número estructural de la capa estabilizada con emulsión asfáltica de las carreteras analizadas, resultando valores de 1.11 para un espesor de 10 cm y 1.7 para un espesor de 15 cm, estos valores resultan mayores que los valores que se esperarían para una capa base de material granular, permitiendo confirmar que el desempeño estructural de las carreteras ha mejorado.

Finalmente, al realizar un análisis comparativo de costos resulta más económico colocar una base estabilizada con emulsión asfáltica que una base de material granular, tomando en consideración la capacidad estructural que brinda cada capa. Tras analizar todas estas variables se puede concluir que es viable este tipo de estabilización para carreteras de tercer orden, sin embargo, se recomienda realizar los ensayos correspondientes que ayuden a cuantificar las mejoras del suelo estabilizado en particular.

Palabras clave: Carreteras terciarias. Estabilización con emulsión asfáltica. Desempeño funcional. Desempeño estructural. Viga Benkelman. Viabilidad.



ABSTRACT

The present investigation takes a closer look to the viability of the use of bitumen emulsion as a stabilizer in low traffic roads, which commonly contain a gravel and clay layer conforming the surface of the road. This study was developed in the province of Azuay and the data studied was handed by the province's Prefecture. With the main goal of analyzing the viability of said technique of stabilization, two kinds of criteria were adopted. The first criteria focused on researching the state of art regarding emulsion stabilization; with studies of the stabilization, technical standards (norms) and real application cases of the technique in the region. The second criteria focused on rating the functional and structural performance of previously constructed roads in the province. In regard of the functional performance, the Pavement Condition Index (PCI) was chosen. In this test, distresses are identified visually and roads are rated with a number according to the condition of the pavement. Meanwhile, the structural test consisted in the measurement of deflections in the roads, using the Benkelman beam. To achieve this study, two roads were taken into consideration, one being the Ricaurte-Llacao road, and the other the Monay-El Valle road; the two of the roads were stabilized in early 2019.

The results obtained with the application of the criteria showed some variety. According to bibliography studies, this technique has been used in the country and the region, especially in low traffic roads where by increasing the capacity of the granular layers, low thickness surface layers can be used. According to various standards, the use of some soils is restrained for its use in stabilization, especially in liquid limits with maximum values between 20 and 40, and plastic index with maximum values between 9 and 18. However this is a field where it is recommended to deeply analyze each case in order to find the real enhancement of the soil.

According to the second criteria, results obtained in the performance assessments show that, in the functional evaluation, the Ricaurte-Llacao road's PCI is 48, which is classified as "Fair", and the Monay-El Valle road's PCI is 60 corresponding to "Good". By analyzing the type of distresses and its causes, it was found that most of the failures depended on other factors as the surface layer or an overload of traffic. The structural evaluation, in the other hand, showed that recoverable deflections were below the threshold of acceptable deflections exposed by various authors. Structural numbers of stabilized layers were calculated too. This gave a result of 1.17 for a layer thickness of 10 cm, and 1.77 for a layer thickness of 15 cm; these two higher numbers than the obtained with a normal base course layer.

Finally, by applying an economic analysis, comparing the stabilized material and a base course layer, it was shown that the stabilized material offers a lower price comparing layer thicknesses that offer the same structural strength. Therefore, after studying all of the criteria, it can be concluded that the stabilization with bitumen emulsion is a good choice, but it is important to count with tests that help to quantify the enhancements achieved by the stabilization of the soil.

Key words: Low traffic roads. Bitumen emulsion stabilization. Functional performance. Structural performance. Benkelman beam. Viability.



Índice general

1. INTRODUCCIÓN.....	21
1.1. Antecedentes	21
1.2. Problemática.....	21
1.3. Justificación.....	22
1.4. Alcance.....	23
1.5. Área de estudio.....	23
1.6. Metodología	24
1.7. Objetivos	25
1.8. Organización del trabajo	25
2. MARCO TEÓRICO	27
2.1. Fundamentos teóricos.....	27
2.1.1. Suelos	27
2.1.1.1. Definición de suelos	27
2.1.1.2. Clasificación de suelos	27
2.1.2. Carreteras	28
2.1.2.1. Definición de carretera	28
2.1.2.2. Clasificación de carreteras	28
2.1.2.3. Estructura básica de una carretera.....	30
2.1.3. Estabilización de suelos enfocado en carreteras	32
2.1.3.1. Estabilización física.....	33
2.1.3.2. Estabilización química	33
2.1.3.3. Estabilización mecánica	34
2.1.3.4. Tipos de estabilización química para carreteras.....	34



2.1.3.5.	Estabilización con emulsión asfáltica para carreteras	40
2.1.4.	Análisis del desempeño de un pavimento	59
2.1.4.1.	Intervalo remanente de servicio (RSI)	60
2.1.4.2.	Niveles de servicio	60
2.1.4.3.	Valores límite	61
2.1.4.5.	Ensayos de desempeño funcional.....	62
2.1.4.6.	Ensayo de desempeño estructural	68
2.2.	Revisión de bibliografía	76
2.2.1.	Revisión de normativas vigentes con respecto a la estabilización	76
2.2.1.1.	Normativas en el Ecuador sobre el uso de emulsión asfáltica en vías terciarias	76
2.2.1.2.	Normativas vigentes de otros países sobre el uso de emulsión asfáltica en vías terciarias	80
2.2.2.	Carreteras Estabilizadas con emulsión asfáltica en la provincia del Azuay	85
2.2.3.	Carreteras Estabilizadas con emulsión asfáltica en la región.....	87
2.2.3.1.	Carretera Pindal-Milagros-Paletillas	87
2.2.3.2.	Carretera Puno-Tacna, tramo Tarata-Capazo-Mazocruz	89
2.2.3.3.	Carretera de acceso a la Vereda La Argentina del Municipio de Villavicencio Meta.....	92
2.2.3.4.	Vía Las Mercedes – Puerto Nuevo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.....	94
3.	MATERIALES Y METODOLOGÍA	97
3.1.	Carreteras casos de estudio	97
3.1.1.	Carretera Ricaurte-Llacao	97
3.1.2.	Carretera Monay-El Despacho-El Valle	100



3.1.3.	Resultados de laboratorio	103
3.2.	Evaluación funcional.....	105
3.2.1.	Número de muestras.....	105
3.2.2.	Recálculo del número de muestras por desviación estándar	105
3.2.3.	Toma de datos	106
3.2.4.	Cálculo del PCI de las muestras.....	108
3.2.5.	Causas de los diferentes tipos de fallas	110
3.2.6.	Predicción de deterioro del PCI	111
3.3.	Evaluación estructural	113
3.3.1.	Número de muestras.....	113
3.3.2.	Toma de datos	114
3.3.3.	Cálculo de las deflexiones.....	118
3.3.3.1.	Corrección por temperatura.....	119
3.3.3.2.	Transformación de deflexiones a equivalentes para FWD.....	120
3.3.4.	Capacidad estructural	121
3.3.4.1.	Capacidad estructural de acuerdo a las propiedades de los materiales.....	121
3.3.4.2.	Capacidad estructural mediante resultados de deflectometría	123
3.3.5.	Deflexión admisible	125
3.3.5.1.	Cálculo del ESAL.....	125
3.3.5.2.	Cálculo de la deflexión admisible.....	127
3.3.6.	Área del cuenco de deflexión.....	128
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	129
4.1.	Comparación entre la normativa vigente en el Ecuador con las encontradas en otros países	129



4.2.	Desempeño funcional de las vías Ricaurte-Llacao y Monay-El Despacho-El Valle...	132
4.2.1.	Estado funcional actual del pavimento.....	132
4.2.2.	Fallas más comunes y sus causas.	135
4.2.3.	Predicción de deterioro del PCI	137
4.3.	Desempeño estructural de las vías Ricaurte-Llacao y Monay-El Despacho-El Valle .	138
4.3.1.	Condición estructural actual.....	138
4.3.2.	Capacidad estructural	140
4.3.2.1.	Números estructurales teóricos para bases granulares	141
4.3.2.2.	Números estructurales en campo calculados con resultados de deflectometría	142
4.3.3.	Deflexión admisible	150
4.3.3.1.	ESALs de las carreteras de estudio	150
4.3.3.2.	Resultados de deflexiones admisibles	151
4.3.4.	Área del cuenco de deflexión.....	153
4.4.	Comparación conjunta entre diseño, desempeño y normativa.....	154
4.4.1.	Relación entre desempeño funcional y estructural.....	155
4.4.2.	Comparación con otras vías de la región	157
4.5.	Comparación en relación al costo unitario de construcción entre una carretera con suelos estabilizado y una sin estabilizar	158
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	163
5.1.	Conclusiones	163
5.1.1.	Conclusión general.....	163
5.1.2.	Conclusiones con respecto a bibliografía y normativas	163
5.1.3.	Conclusiones con respecto al desempeño	164
5.1.4.	Conclusiones con respecto a la viabilidad y aspecto económico	165



5.2. Recomendaciones.....	165
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	167
ANEXOS	173

Índice de tablas

Tabla N° 1. Clasificación de los tipos de subbases (MOP-001, 2002).....	30
Tabla N° 2. Porcentaje de dosificaciones típicas para la preparación de una emulsión	45
Tabla N° 3. Escala de tiempo para identificar el tipo de emulsión (Mercado, Bracho, & Avendaño, 2008).....	48
Tabla N° 4. Requisitos de la emulsión asfáltica catiónica (Instituto Ecuatoriana de Normalizacion, NTE INEN 2062, 2009).	50
Tabla N° 5. F.S.E. para cada tamiz (Montejo et al., 2018).....	53
Tabla N° 6. Requerimientos de la emulsión asfáltica (Departamento de Transporte de los Estados Unidos).....	55
Tabla N° 7. Clasificación del pavimento según el índice de serviciabilidad (AASHTO, 1993)..	62
Tabla N° 8. Clasificación del pavimento según el PCI (Vásquez Varela, 2002).	63
Tabla N° 9. Localización del punto de ensayo (I.N.V. E - 795, 2013).....	72
Tabla N° 10. Frecuencia de medición (I.N.V. E - 795, 2013).	74
Tabla N° 11. Valores de Zr, para aplicar en la desviación estándar para diferentes niveles de ...	76
Tabla N° 12. Características del suelo para la estabilización (MOP-001, 2002).....	77
Tabla N° 13. Granulometría para bases de hormigón asfáltico (MOP-001, 2002).....	78
Tabla N° 14. Requisitos que debe cumplir la mezcla (MOP-001, 2002).	78
Tabla N° 15. Porcentaje que pasa a través de los tamices (MOP-001, 2002).....	78
Tabla N° 16. Características del suelo para estabilizar (INVIAS, 2013).	81
Tabla N° 17. Características de los materiales de revestimiento para	82
Tabla N° 18. Requisitos de la base a estabilizar (N·CMT·4·02·003, 2019).....	82
Tabla N° 19. Requerimientos del suelo para bases negras (N·CMT·4·02·003, 2019).....	83
Tabla N° 20. Características para la mezcla estabilizada (N·CMT·4·02·003, 2019).....	83



Tabla N° 21. Características de suelo para estabilizar (MTC/14, 2014).	83
Tabla N° 22. Características del suelo a estabilizar (COVENIN, 2000).	85
Tabla N° 23. Granulometría estándar para la estabilización de suelos con emulsión asfáltica (COVENIN, 2000).	85
Tabla N° 24. Requisitos de la mezcla suelo-emulsión (COVENIN, 2000).	85
Tabla N° 25 Vías estabilizadas con emulsión asfáltica en el Azuay. Informes facilitados por la Prefectura del Azuay (García Valencia, 2020).	86
Tabla N° 26. Características físicas - mecánicas del material para base estabilizada (Sarmiento Álvarez, 2018).	88
Tabla N° 27. Espesores del pavimento de la vía Pindal-Milagros-Paletillas.	88
Tabla N° 28. Espesores de las capas de la carretera Puno-Tacna (De la Torre Illescas, 2018).	90
Tabla N° 29. Estructura del pavimento de la carretera Villavicencio-Meta	93
Tabla N° 30. Resultados de ensayos de absorción en las muestras (Almeida & Sánchez, 2011). 95	
Tabla N° 31. Resultados del ensayo de capacidad portante (CBR) en las muestras (Almeida & Sánchez, 2011).	95
Tabla N° 32 Características de la vía Ricaurte-Llacao (Programa Google Earth).	98
Tabla N° 33. Espesor de las capas del pavimento de la vía Ricaurte-Llacao.	99
Tabla N° 34 Características de la vía Monay-El Valle (Programa Google Earth)	101
Tabla N° 35. Espesor de las capas del pavimento de la vía Monay-El Valle.	102
Tabla N° 36. Granulometría del suelo (Prefectura del Azuay).	104
Tabla N° 37. Límites de Atterberg de los suelos (Prefectura del Azuay).	104
Tabla N° 38. Valores de CBR y Mr del suelo (Prefectura del Azuay).	104
Tabla N° 39. Unidades de muestreo en la carretera Ricaurte-Llacao.	105
Tabla N° 40. Unidades de muestro en la carretera Monay-El Valle.	105
Tabla N° 41- Muestras necesarias y evaluadas de la carretera Ricaurte-Llacao.	106
Tabla N° 42, Muestras necesarias y evaluadas de la carretera Monay-El Valle.	106
Tabla N° 43. Número de reducción para el cálculo del PCI.	109
Tabla N° 44. Deducciones usadas.	109
Tabla N° 45. Determinación del valor del PCI.	109
Tabla N° 46. Valores de Z0 según la incertidumbre (Picado Muñoz, 2016).	112
Tabla N° 47. Puntos de muestreo en la carretera Ricaurte-Llacao.	113



Tabla N° 48. Puntos de muestreo en la carretera Monay-El Valle. 113

Tabla N° 49. Cálculo de las deflexiones. 119

Tabla N° 50. Transformación de las deflexiones de resultados de Viga Benkelman a FWD de la carretera Monay-El Valle. 120

Tabla N° 51. Calidad de drenaje (AASHTO, 1993). 123

Tabla N° 52. Coeficiente de drenaje (AASHTO, 1993). 123

Tabla N° 53. Rango de valores del parámetro AREA (Higuera Sandoval, Caracterización de los cuencos de deflexión en estructuras de pavimentos flexibles, 2009). 128

Tabla N° 54. Comparación entre normativas vigentes en diferentes países (Normativas revisadas). 130

Tabla N° 55. Cumplimiento del suelo típico de la zona de estudio con diferentes normativas.. 131

Tabla N° 56. Cumplimiento del suelo para una base suelo-cemento. 132

Tabla N° 57. Resultado del desempeño funcional método PCI de la vía Ricaurte-Llacao. 133

Tabla N° 58. Resultados del desempeño funcional método PCI de la vía Monay-El Valle. 134

Tabla N° 59. Fallas más comunes de la carretera Ricaurte-Llacao. 135

Tabla N° 60. Fallas más comunes de la carretera Monay-El Valle. 136

Tabla N° 61. Deflexiones máximas de la vía Ricaurte – Llacao. 139

Tabla N° 62. Deflexiones máximas de la vía Monay – El Despacho – El Valle. 139

Tabla N° 63. Datos para obtener el número estructural de la carretera Ricaurte-Llacao, informes Prefectura del Azuay (García Valencia, 2020). 141

Tabla N° 64. Datos para obtener el número estructural de la carretera Monay-El Valle, informes Prefectura del Azuay (García Valencia, 2020). 141

Tabla N° 65. Número estructural de la carretera Ricaurte-Llacao con base granular. 142

Tabla N° 66. Número estructural de la carretera Monay-El Valle con base granular. 142

Tabla N° 67. Iteración del Mr y SN efectivo de la carretera Ricaurte-Llacao, con un r=25cm. 143

Tabla N° 68. Iteración del Mr y SN efectivo de la carretera Ricaurte-Llacao, con un r=50cm. 143

Tabla N° 69. Resultados de Mr, EP y SN efectivo de la carretera Ricaurte-Llacao. 144

Tabla N° 70. Iteración del Mr y SN efectivo de la carretera Monay-El Valle, con un r=25cm. 145

Tabla N° 71. Iteración del Mr y SN efectivo de la carretera Monay-El Valle, con un r=50cm . 145

Tabla N° 72. Iteración del Mr y SN efectivo de la carretera Monay-El Valle, con un r=100cm. 146



Tabla N° 73. Resultados de Mr, EP y SN efectivo de la carretera Monay-El Valle.	147
Tabla N° 74. Factor de camión para las carreteras de estudio (Prefectura del Azuay, 2017).....	150
Tabla N° 75. ESAL de la carretera Ricaurte-Llacao.....	150
Tabla N° 76. ESAL de la carretera Monay-El Valle	150
Tabla N° 77. Valores de deflexión admisible de la vía Ricaurte-Llacao.....	151
Tabla N° 78. Valores de deflexión admisible de la vía Monay-El Valle.....	152
Tabla N° 79. Área del cuenco de deflexión de la carretera Ricaurte-Llacao.....	153
Tabla N° 80. Área del cuenco de deflexión de la carretera Monay-El Valle.....	154
Tabla N° 81. Costo unitario de construcción de la capa estabilizada con emulsión asfáltica con material reciclado (Información recopilada de parte de la Prefectura del Azuay).	159
Tabla N° 82. Costo unitario de construcción de la capa estabilizada con emulsión asfáltica con material reciclado (Información recopilada de parte de la Prefectura del Azuay).	160
Tabla N° 83. Costo unitario de construcción de la capa con material base (Información recopilada de parte de la Prefectura del Azuay).	161
Tabla N° 84. Costos unitarios por m ² de construcción según espesor y número estructural de la carretera Ricaurte-Llacao.....	162
Tabla N° 85. Costos unitarios por m ² de construcción según el espesor y número estructural de carretera Monay-El Valle.....	162

Índice de figuras

Figura N° 1. Carreteras de estudio: Ricaurte-Llacao y Monay-El Valle	24
Figura N° 2. Esquema del proceso de elaboración de emulsión asfáltica (Video PDVSA Asfalto, Emulsiones asfálticas).	46
Figura N° 3. Máquina estabilizadora WIRTGEN DITECA WR 240.	57
Figura N° 4. Esquema del manejo de un proyecto vial.	60
Figura N° 5. Valores de deducción corregidos (ASTM D 6433, 2007).	68
Figura N° 6. Curva de deflexiones (Carrasco & Vizhnay, 2019).	69
Figura N° 7. Tipos de curvas de deflexión según su extensión y profundidad (Hoffman & Del Aguila, 1985).	70
Figura N° 8. Esquema básico de la viga Benkelman (Hoffman & Del Aguila, 1985).	71



Figura N° 9. Configuración de la ubicación de la viga Benkelman debajo de la volqueta (Hoffman & Del Aguila, 1985).	73
Figura N° 10. Esquema del proceso de medición (I.N.V. E - 795, 2013).	73
Figura N° 11. Deflectograma de la vía Puno-Tacna (De la Torre Illescas, 2018).	91
Figura N° 12. Índice de regularidad Internacional (IRI) del tramo 7 Tarata-Capazo (De la Torre Illescas, 2018).	92
Figura N° 13. Mapa de la carretera Ricaurte-Llacao (Programa Bing Maps).	98
Figura N° 14. Espesor de la capa de rodadura (Doble tratamiento bituminoso).	99
Figura N° 15. Mapa de la carretera Monay-El Valle (Programa Bing Maps).	101
Figura N° 16. Espesor de las capas del pavimento excavación en el Km 1+480.	102
Figura N° 17. Intervalos de muestreo.	106
Figura N° 18. Hoja de reporte para el PCI.	107
Figura N° 19. Fallas de la vía Ricaurte-Llacao (izquierda desgaste, derecha baches).	107
Figura N° 20. Fallas en la vía Monay-El Valle (izquierda Ahuellamiento, derecha depresiones).	108
Figura N° 21. Datos de la evaluación de la muestra 12 de la carretera Ricaurte-Llacao.	108
Figura N° 22. Intervalos de muestras.	113
Figura N° 23. Hoja de reporte para el ensayo con la viga Benkelman (Hoffman & Del Aguila, 1985).	114
Figura N° 24. Viga Benkelman del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.	115
Figura N° 25. Volqueta y ubicación de la viga Benkelman.	115
Figura N° 26. Medición de la temperatura del pavimento.	116
Figura N° 27. Esquema de toma de lecturas de deflexión. (Hoffman & Del Aguila, 1985).	117
Figura N° 28. Lectura del dial deformímetro.	118
Figura N° 29. Transformación de la lectura de la recuperación de la deflexión.	119
Figura N° 30. Cuenco de deflexión de la estación 1 (abscisa 0+150), con deflexiones transformadas en FWD de la carretera Monay – El Valle.	121
Figura N° 31. Coeficiente estructural para una carpeta asfáltica (AASHTO, 1993).	122
Figura N° 32. Coeficiente estructural para bases granulares (AASHTO, 1993).	122
Figura N° 33. Coeficiente estructural para subbases granulares (AASHTO, 1993).	123
Figura N° 34. Curva de desempeño del PCI según el modelo de Costa Rica (Picado Muñoz,	



2016).	137
Figura N° 35. Curva de desempeño de una estructura insuficiente (Picado Muñoz, 2016).	138
Figura N° 36. Variación del coeficiente estructural en bases tratadas con asfáltica con los parámetros de resistencia de la base. Manual de reciclado en Frio (Wirtgen, 2004).	149
Figura N° 37. Comparación de las deflexiones máximas con la deflexión admisible de la vía Ricaurte-Llacao según varios autores.	152
Figura N° 38. Comparación de las deflexiones máximas con la deflexión admisible de la vía Monay-El Valle según varios autores.	153
Figura N° 39. Relación entre desempeño funcional y estructural (PCI-Deflexión) carretera Ricaurte-Llacao.	156
Figura N° 40. Relación entre desempeño funcional y estructural (PCI-Deflexión) carretera Monay-El Valle.	157

Índice de ecuaciones

Ecuación N° 1	53
Ecuación N° 2	53
Ecuación N° 3	53
Ecuación N° 4	65
Ecuación N° 5	65
Ecuación N° 6	66
Ecuación N° 7	67
Ecuación N° 8	67
Ecuación N° 9	75
Ecuación N° 10	75
Ecuación N° 11	75
Ecuación N° 12	75
Ecuación N° 13	75
Ecuación N° 14	104
Ecuación N° 15	112
Ecuación N° 16	120



Ecuación N° 17	121
Ecuación N° 18	124
Ecuación N° 19	124
Ecuación N° 20	124
Ecuación N° 21	125
Ecuación N° 22	125
Ecuación N° 23	126
Ecuación N° 24	126
Ecuación N° 25	126
Ecuación N° 26	126
Ecuación N° 27	126
Ecuación N° 28	127
Ecuación N° 29	127
Ecuación N° 30	127
Ecuación N° 31	127
Ecuación N° 32	127
Ecuación N° 33	127
Ecuación N° 34	127
Ecuación N° 35	128



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Garzón Vera Jonny Eduardo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “USO DE SUELOS ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA COMO PARTE DE LA ESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS TERCIARIAS Y VECINALES”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 01 de febrero del 2021

Garzón Vera Jonny Eduardo

C.I: 1400718977



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Ronald René Plaza Solís en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “USO DE SUELOS ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA COMO PARTE DE LA ESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS TERCIARIAS Y VECINALES”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 01 de febrero del 2021

Ronald René Plaza Solís

C.I: 0107431538



Cláusula de Propiedad Intelectual

Garzón Vera Jonny Eduardo, autor del trabajo de titulación "USO DE SUELOS ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA COMO PARTE DE LA ESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS TERCIARIAS Y VECINALES", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 01 de febrero del 2021

Garzón Vera Jonny Eduardo

C.I: 1400718977



Cláusula de Propiedad Intelectual

Ronald René Plaza Solís, autor del trabajo de titulación “USO DE SUELOS ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA COMO PARTE DE LA ESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS TERCIARIAS Y VECINALES”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 01 de febrero del 2021

Ronald René Plaza Solís

C.I: 0107431538



AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a quienes han hecho posible la realización de este trabajo de titulación. Primeramente, queremos agradecer a la Ing. Karla Santacruz, PhD; quien nos ha servido de guía y gracias a sus consejos hemos podido culminar exitosamente nuestro trabajo. También queremos agradecer a nuestros lectores los ingenieros Daniel Mogrovejo y Jaime Bojorque por todas sus observaciones al realizar este documento. Finalmente queremos manifestar nuestro agradecimiento a la Prefectura del Azuay, en especial al Ing. Jorge García; y a la Ing. Janneth Lojano del Ministerio de Transporte y Obras Públicas por habernos brindado su apoyo y facilidades para la realización de este proyecto.

Jonny y Ronald



DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se la dedico a mis padres Víctor y Teresa por brindarme su apoyo incondicional en todo el transcurso de mis estudios y en las metas que me propongo, a mis hermanos Tatiana y Alex que me han sabido aconsejar y animar a culminar este proyecto y seguir adelante.

Jonny

Este trabajo de titulación está dedicado a mi familia de quienes siempre he conseguido su apoyo durante toda mi vida. Dedicado a mis padres René y Cecilia, quienes han sido excelentes padres y siempre han procurado por el bienestar de sus hijos. También se lo dedico a mis hermanos Jonnathan y Brittany, que de igual manera me han apoyado y han estado siempre a mi lado, y sé que siempre será de esa forma.

Ronald



1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación pretende obtener una visión clara sobre la factibilidad de la aplicación de emulsión asfáltica como material estabilizante en caminos con superficie de grava y arcilla. La investigación propuesta analiza el desempeño estructural y funcional, en vías terciarias y vecinales usando emulsión asfáltica para mejorar las características del material pétreo usado dentro de la conformación de la estructura vial. El material estabilizado formaría parte de la estructura del pavimento como una capa de base sobre la cual se aplicaría un doble tratamiento superficial bituminoso (DTSB).

1.1. Antecedentes

Las emulsiones asfálticas fueron originalmente desarrolladas para resolver dificultades constructivas asociadas a la construcción con asfalto en caliente, y también como paliativos contra el polvo, a inicios del siglo XX en el año 1922, en Inglaterra se realizó la primera patente de una emulsión de asfáltica, la cual luego sería mejorada con el transcurrir de los años, mejorando su adherencia con cualquier tipo de árido y condición meteorológica. Debido a la crisis energética en los años 70, su uso se vio aumentado debido a que no requieren un solvente de petróleo para ser líquidas y sobre todo a que se puede emplear sin necesidad de calentarlo, ahorrando energía. A partir de estos acontecimientos, se ha empezado a utilizar la emulsión asfáltica como estabilizante de suelos para carreteras. (Instituto del Asfalto, 2005)

En lo que concierne a Latinoamérica, últimamente se ha investigado el uso de emulsión asfáltica como estabilizante para suelos en carreteras como en: Departamento de Ahuachapán, Municipio de Ahuachapán en la República de El Salvador (Calidonio, Carrillo, & Meléndez, 2010), en el sector Huachi la Magdalena de la parroquia Huachi chico, del Cantón Ambato (Quiroz Vargas, 2017) y vía Las Mercedes - Puerto Nuevo, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, (Almeida & Sánchez, 2011) por mostrar algunos ejemplos que luego serán revisados.

1.2. Problemática

En el año 2017 la provincia del Azuay contaba con 4987.83 km de vías, pero de este total únicamente 937.91 km se encontraban en buen estado (Prefectura del Azuay, 2017). Esto indica que menos del 20 % de la red vial se encuentra en buen estado. Las carreteras terciarias con superficie de rodadura de grava y arcilla (lastre), son las que se deterioran más rápido y tienden a



necesitar un mantenimiento periódico. Para evitar esta situación la Prefectura del Azuay opta por aplicar tratamientos superficiales (DTBS) en dichas carreteras. Sin embargo, para obtener una capa de soporte necesaria para el DTBS es necesaria la aplicación de una capa de base; esto aumenta el costo de la obra y no aprovecha al máximo el material ya existente en la vía.

Hay que considerar también, que mediante la actualización del inventario vial de la provincia para el año 2017 se detectó que el 45.91 % de las vías provinciales no se podían atender por falta de recursos económicos (Prefectura del Azuay, 2017); por lo que se necesitan alternativas funcionales que abaraten los costos de las obras y así poder ampliar el porcentaje de vías en buenas condiciones que presten una funcionalidad adecuada. Por otro lado, la provincia del Azuay cuenta con un número de minas de 220, pero de estas minas no todas producen material granular de base, solamente 103 lo hacen, gran parte de estas minas están ubicadas en el cantón Cuenca (Prefectura del Azuay, 2017). Existen cantones como Camilo Ponce Enríquez y San Fernando que no cuentan con ninguna mina de este tipo (Prefectura del Azuay, 2017). En sitios como los antes mencionados, sin duda, es necesario realizar un análisis sobre el uso de suelos estabilizados para carreteras como una alternativa para conformar la estructura vial. Vías en condiciones adecuadas evitan inconvenientes a los habitantes como reparaciones de vehículos e incrementos en tiempos de viaje; lo cual desemboca en un crecimiento económico para toda la sociedad.

1.3. Justificación

Una alternativa para el aprovechamiento de los recursos ya existentes en la vía es la estabilización de suelos; de esta forma se ahorra la necesidad de usar capas nuevas de material granular al momento de realizar un DTBS, ya que las propiedades de la superficie de rodadura estabilizada podrían funcionar como soporte del DTBS.

Los factores que aportan a que la implementación de esta tecnología se aplique de manera exitosa son: la disponibilidad de materiales, de equipo necesario y la existencia de personal capacitado para realizar este trabajo (CAF, 2010). La prefectura del Azuay cuenta con todos estos factores ya que se posee la maquinaria específica para realizar el trabajo de estabilización, y los trabajadores están familiarizados con este tipo de procedimientos; siendo necesario solo un afinamiento de los diseños.



El fin que se persigue al estabilizar los suelos existentes en la vía con emulsión asfáltica, es mejorar las propiedades mecánicas del mismo como: aumento de la capacidad portante, disminución de las deformaciones, ondulación y agrietamientos, y aumento de la vida útil de la estructura vial. Al implementar esta técnica y mejorar la estructura vial también se solucionarían los problemas indirectos que se producen, como: los tiempos de viaje, costos de viaje, pérdidas económicas debido al mantenimiento de los vehículos y sobre todo al bienestar de los habitantes de las zonas aledañas.

1.4. Alcance

La presente investigación considerará a la emulsión asfáltica como material principal para la estabilización del suelo, dejando de lado el estudio de otros materiales como: cal, cemento, polímeros y soluciones químicas. Este estudio está enfocado en analizar dos carreteras que conforman la red vial terciaria de la provincia del Azuay. En cuanto a normativas, se tomarán en consideración las normativas latinoamericanas.

1.5. Área de estudio

El estudio se enfocará en estudiar casos de carreteras estabilizadas en la provincia, en específico el caso de dos carreteras ya estabilizadas y cuya jurisdicción pertenece a la Prefectura del Azuay; estas vías son la Ricaurte-Llacao la cual cuenta con una longitud de 1.65 km y la vía El Valle-El Despacho-Guncay-Monay con 3.08 km de longitud.

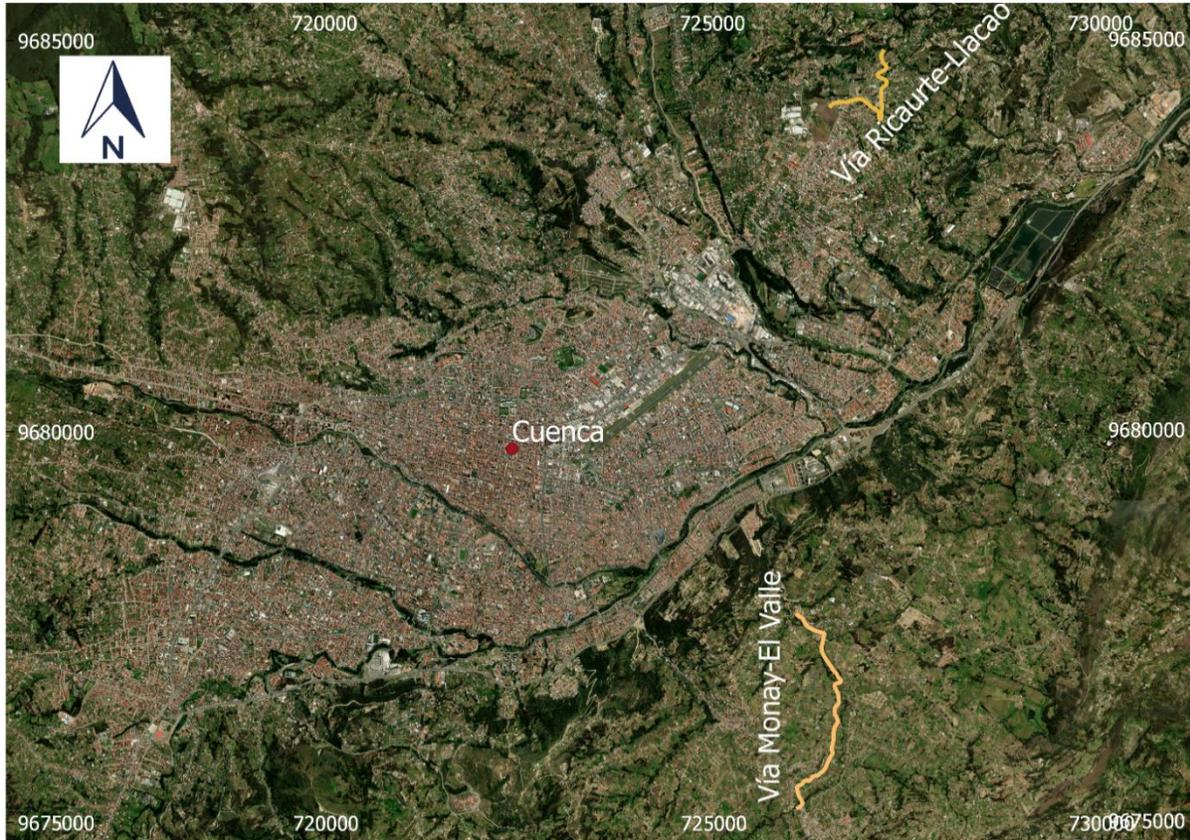


Figura N° 1. Carreteras de estudio: Ricaurte-Llacao y Monay-El Valle

1.6. Metodología

Para estudiar la viabilidad del uso de este material se pretende realizar un estudio comparativo y de desempeño de casos de vías previamente estabilizadas con esta tecnología. En lo que respecta a la parte del análisis comparativo bibliográfico, se tomarán casos de vías ajenas a la zona de estudio que hayan tenido similares experiencias, además de normativas vigentes de diversos países; y compararlos con los datos, diseños de estabilización, requerimientos y experiencias pertenecientes a la zona de estudio. En el caso de la viabilidad con respecto al desempeño, se planea evaluar el estado funcional y estructural de la vía.

La obtención del desempeño funcional se lo hará mediante el cálculo del PCI. Una vez obtenidos los datos, se procederá a analizar los tipos de fallas más frecuentes y se tratará de obtener una curva de deterioro del PCI que se ajuste a lo medido en campo.

En el caso del desempeño funcional se recurrirá a un ensayo de deflectometría a través del uso de la viga Benkelman. Una vez obtenidos los datos de deflexión se realizará un análisis de los números estructurales, deflexiones admisibles y cuencos de deflexión de las vías estudiadas.



Finalmente, se realizará un estudio de costos que demuestre la factibilidad económica del uso de la emulsión asfáltica por encima de una base granular normal.

1.7. Objetivos

El objetivo principal de la investigación es:

Analizar la viabilidad del uso de suelo estabilizado con emulsión asfáltica, como parte de la estructura vial en carreteras de tercer orden y caminos vecinales

Del objetivo principal se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Investigar los criterios y mecanismos de estabilización de suelos usados como parte de la estructura vial para carreteras terciarias.
- Revisar casos de estudio que involucren el uso de suelos estabilizados con emulsión asfáltica como parte de la estructura vial.
- Realizar una profunda revisión bibliográfica que permita llegar a establecer claramente el estado del arte respecto al uso de suelos mejorados con emulsión asfáltica dentro de la estructura de vías de tercer orden.
- Realizar una revisión de las normativas vigentes en diferentes países respecto a la estabilización de suelos con emulsión asfáltica en la estructura vial de tercer orden.
- Análisis del desempeño funcional y estructural de dos casos específicos de vías en nuestra zona: Monay-El Despacho-El Valle y Ricaurte-Llacao.
- Concluir acerca de la viabilidad tanto en desempeño como en el aspecto económico del uso de emulsión asfáltica como estabilizante en carreteras.

1.8. Organización del trabajo

La estructura con la que se llevará el desarrollo del tema en el presente documento comprende un total de seis capítulos.

El Capítulo I en dónde se enfoca en los conceptos básicos que sirven de base para el desarrollo de la investigación planteada.

En el Capítulo II se estudia más a fondo las teorías existentes sobre la estabilización de suelos, en su mayoría empíricas y que contemplan factores como el índice plástico y la granulometría; y el grado de influencia que tiene cada uno de ellos sobre el proceso, y los resultados que se podría esperar.



En el Capítulo III se realiza una recopilación de varios casos de proyectos viales realizados con estabilización con emulsión asfáltica en vías rurales tanto dentro como fuera de la zona de estudio, además de normativas vigentes de distintos países que regulen el uso de emulsiones asfálticas como estabilizante en carreteras y una breve comparación entre ellas.

El Capítulo IV se enfoca en los criterios y ensayos a utilizar para evaluar el desempeño de las carreteras tanto estructural como funcionalmente.

Los resultados obtenidos, luego de la realización de los diferentes ensayos, están reflejados en el Capítulo V, en el que se les da también una interpretación científica sobre la influencia de varios factores presentes en los diseños sobre estos, y también una comparación con la información recopilada anteriormente de normativas y literatura existente.

El Capítulo VI comprende las conclusiones del trabajo de investigación, en esta sección se determina la viabilidad de la estabilización de suelos y se dan recomendaciones sobre nuevos estudios que pueden ser realizados a partir del presente trabajo de investigación.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos teóricos

2.1.1. Suelos

2.1.1.1. Definición de suelos

Se define al suelo como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuestas junto con líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas (Juarez & Rico, 2003).

El suelo es el soporte último de todas las obras de infraestructura, por lo que es necesario estudiar su comportamiento ante la perturbación que supone cualquier asentamiento.

2.1.1.2. Clasificación de suelos

Independientemente del origen del suelo, este se clasifica según el tamaño de las partículas el sistema de clasificación de la administración de carreteras AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes) clasifica en base a la distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad en 7 grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35 % o menos de las partículas pasan a través del tamiz número 200 (0.075 mm). Los suelos donde más del 35 % pasa el tamiz número 200 (0.075mm) se clasifican en grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Las turbas, el fango y otros suelos altamente orgánicos A-8 (Braja, 2015).

La clasificación se basa en los siguientes criterios:

a) Tamaño de grano.

Grava: Fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenido en el tamiz N°10 (2 mm)

Arena: Fracción que pasa el tamiz N°10 (2 mm) y es retenido en el tamiz número 200 (0.075 mm)

Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz N° 200 (0.075mm)

b) Plasticidad: el término limoso se aplica cuando las fracciones finas del suelo tienen índice de plasticidad de 10 o menos. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de 11 o más.



- c) Si se encuentran cantos y guijarros (tamaño mayor a 75 mm), se excluyen de la porción de la muestra de suelo, sin embargo, se registra el porcentaje de ese tipo de material.

2.1.2. Carreteras

2.1.2.1. Definición de carretera

Camino que se diseña y se construye con especificaciones adecuadas para la movilidad terrestre de los vehículos, ciclistas, peatones que constituyen un medio esencial de comunicación que une regiones, provincias, cantones y parroquias de la República del Ecuador (Decreto Ejecutivo No. 436, 2018).

2.1.2.2. Clasificación de carreteras

Por sus características, las carreteras se clasifican en:

I. Por su jurisdicción o administración

Según la constitución de la república y el COOTAD (Código Orgánico De Ordenamiento Territorial, Descentralización y Autonomía), en el Ecuador los sistemas viales se encuentran agrupados de acuerdo a las competencias de los diferentes niveles de gobierno que las planifican y mantienen (Ecuador, Asamblea Constituyente , 2010). Es así que se dividen en:

- a. Primer grupo la Red Vial Estatal. - Compuesto por las vías principales arteriales y las vías secundarias colectoras. El estado es el órgano rector de estas vías y su administración está a cargo del Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP, su objetivo es integrar al país.
 - i. Red vial estatal primaria arterial. Rutas que conectan cruces de frontera, puertos y capitales de provincia formando una malla estratégica.
 - ii. Red vial estatal secundaria o colectoras. Son rutas que tienen como función recolectar el tráfico de una zona rural o urbana para conducirlo a las vías primarias.
- b. Segundo grupo la Red Vial Provincial. - Es el conjunto de vías administradas por cada Concejo Provincial. El gobierno provincial se encarga de toda la vialidad intercantonal, interparroquial y toda la vialidad excepto la vialidad urbana que corresponde a los gobiernos municipales.



- i. Red vial Provincial Secundaria (carreteras secundarias). Son las que conectan cabeceras de parroquias y zonas de producción con las carreteras de la red vial estatal y los caminos vecinales de reducido tráfico. Compuesta principalmente por las vías que conectan los cantones entre sí.
 - ii. Red vial provincial terciaria (carreteras terciarias). Son las que conectan los flujos desde las vías secundarias a los caminos vecinales, son de bajo tráfico. Compuesta principalmente por las vías que conectan las parroquias entre sí.
 - iii. Red vial provincial vecinal (caminos vecinales). Los caminos que sirven para conectar los flujos desde los predios o parcelas productivas hacia las carreteras terciarias, caminos de baja intensidad de tráfico. Corresponde a las vías internas de cada parroquia.
- c. Tercer grupo de la Red Vial Cantonal. - Conjunto de vías urbanas e interparroquiales administradas por los consejos municipales. Está formado por las vías de carácter urbano al interior de las ciudades.

II. Según la capacidad (TPDA)

Según el reglamento ley sistema infraestructura vial del transporte terrestre. Decreto Ejecutivo No. 436, registrado oficialmente el 6 de julio del 2018, clasifica a las vías:

Es el volumen promedio anual de tráfico diario proyectado a varios años, de acuerdo a lo siguiente (Decreto Ejecutivo No. 436, 2018):

- a. Carretera RI, RII. - Esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) desde 8.000 vehículos.
- b. Carretera Clase I.- Esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 3.000-8.000 vehículos.
- c. Carretera Clase II.- Esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 1.000-3.000 vehículos.
- d. Carretera Clase III.- Esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 300-1.000 vehículos.
- e. Carretera Clase IV.- Esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 100-300) vehículos.
- f. Carretera Clase V.- Esta carretera debe tener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) menor a 100 vehículos.



III. Clasificación en función de la superficie de rodamiento

Las carreteras según su superficie de rodadura se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos, afirmados (también llamados de grava-arcilla o lastre) y superficie natural.

2.1.2.3. Estructura básica de una carretera

La estructura de una carretera está conformada básicamente por las siguientes capas: subrasante, subbase, base y capa de rodadura.

I. Subrasante

Esta capa es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras, sobre la cual se asienta o colocan las demás capas de la estructura del pavimento. Esta capa deben ser suelos adecuados y estables que tengan cierto valor de CBR según las reglamentaciones de cada país, si el CBR es menor se debe estabilizar el suelo (MTC, 2013).

II. Subbase

La subbase es una capa, de espesor definido, de materiales que cumplen determinadas especificaciones, las cuales se colocan sobre una subrasante aprobada, para soportar la capa de Base. Los agregados empleados en la construcción de capas de subbase deberán graduarse uniformemente de grueso a fino y cumplir las exigencias de granulometría de la tabla 403-1.1 del manual de la MOP-2002 que se presenta a continuación en la Tabla N° 1. Esta exigencia será comprobada mediante ensayos de granulometría, según las normas INEN 696 y 697. Otras exigencias son: el porcentaje de desgaste no sea mayor al 50 % en el ensayo de abrasión y que el agregado que pase el tamiz N° 40, debe carecer de plasticidad o tener límite líquido menor de 25 y un índice de plasticidad menor a 6 (MOP-001, 2002). En la Tabla N° 1 se clasifica los tipos de subbase según requerimientos granulométricos para material subbase.

Tabla N° 1. Clasificación de los tipos de subbases (MOP-001, 2002).

Tamiz	Porcentaje en peso que pasas a través de los tamices de malla cuadrada		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm)	--	--	100
2" (50.4 mm)	--	100	--
1 1/2" (38.1 mm)	100	70 – 100	--
N° 4 (4.75 mm)	30-70	30 – 70	30 – 70
N° 40 (0.425 mm)	10 – 35	15 – 40	--
N° 200 (0.075 mm)	0 – 15	0 – 20	0 – 70



III. Base

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito (MTC, 2013).

La base es una capa de material granular. Esta capa está conformada por suelo seleccionado, de tal manera, que pueda ser utilizado satisfactoriamente para estructurar un pavimento. Esta capa es por lo general utilizada en pavimentos asfálticos; debido a la distribución de esfuerzos existentes, que generan la necesidad de una capa más resistente que la subbase normalmente usada en los pavimentos rígidos (MTC, 2013).

La norma MOP-001 (2002) ofrece una descripción sobre bases granulares, según esta norma las bases deben estar compuestas por agregados triturados, los cuales deben ser cribados total o parcialmente. Además, indica que estos agregados deben ser estabilizados con agregado fino seleccionado. En este documento también se indica que la base no solamente se la puede colocar sobre una capa de subbase, sino también sobre la subrasante, en casos especiales.

IV. Capa de rodadura

Capa superior de la calzada, de material específico, designada para dar comodidad al tránsito. Debe tener características antideslizantes, ser impermeables, y resistir la abrasión que produce el tráfico y los efectos desintegrantes del clima. Se lo suele llamar "Capa de desgaste"; se lo coloca sobre la base y es la que soporta directamente las solicitaciones del tráfico. Esta capa puede ser de tipo bituminoso, cemento Portland (MOP-001, 2002).

V. Superficie de rodadura

Según la norma del MOP-001 (2002) es una capa que se coloca sobre la subrasante adecuadamente terminada de acuerdo con los requerimientos. Este tipo de capa puede ser, Superficie de grava-arcilla, suelos estabilizados con material bituminoso, adoquinado, empedrado; y cada uno tiene la siguiente definición:

Superficie de grava-arcilla: Este tipo de capa es construida normalmente en carreteras terciarias, se considera como una capa estabilizada de grava y arcilla o arena y arcilla la cual es colocada sobre una subrasante terminada con una geometría y resistencia adecuadas para tráfico de baja intensidad.

Superficie estabilizada con emulsión bituminosa: Consiste en la construcción de una capa de suelo estabilizado con material bituminoso sobre una subrasante terminada.



Adoquinado: Está formado por bloques regulares de piedra o de hormigón hidráulico, colocados sobre la subrasante, con una capa de arena entre los bloques y la subrasante para el correcto acomodo.

Empedrado: Consiste en el recubrimiento de la superficie de la carretera con una capa de cantos rodados o de piedra partida sobre la subrasante, asentados sobre una pequeña capa de arena para el correcto acomodo de los fragmentos de piedra.

2.1.3. Estabilización de suelos enfocado en carreteras

La estabilización de carreteras se ha venido desarrollando desde la antigüedad con diferentes tipos de materiales para mejorar las propiedades físico-mecánicas de los suelos sobre los que se asentarían las carreteras.

La estabilización se enfoca en mejorar las propiedades del suelo como son: estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad.

Estabilidad volumétrica

Esta propiedad se refiere a la capacidad de suelos de aumentar o disminuir su volumen rápidamente debido a cambios en su contenido de humedad, esto puede provocar grandes deformaciones en la estructura del pavimento. Este problema se presenta especialmente en suelos arcillosos expansivos; por lo que se necesita encontrar una solución para que sus partículas permanezcan lo suficientemente ligadas entre sí (Montejo Fonseca, 2002).

Resistencia

La resistencia está ligada al contenido de humedad y al peso volumétrico, mientras mayor es el contenido de humedad menor es la resistencia, en cuanto al peso volumétrico si este es bajo la resistencia es baja. Estos factores influyen en la cohesión y fricción de las partículas del suelo y dependen del tipo de suelo ya sea arcilla o arena. Por otra parte, el incremento del peso volumétrico aumenta en grado de consolidación, lo que se traduce en un aumento en la capacidad de carga (resistencia) y una disminución en los asentamientos. (Montejo Fonseca, 2002)

Permeabilidad

Esta propiedad se refiere al flujo de agua a través del suelo sin alterar su estructura interna. La permeabilidad está ligada al grado de compactación y a la humedad de compactación. Con la



existencia de una alta permeabilidad, se pueden provocar en el suelo deslizamientos o tubificaciones y arrastre de material (Montejo Fonseca, 2002).

Compresibilidad

Esta propiedad se refiere a la disminución del volumen debido a las cargas de compactación aplicadas en el suelo. Esta propiedad depende de la relación entre la carga aplicada respecto a la carga que el suelo ha soportado anteriormente, al reacomodo de las partículas durante la aplicación de la carga y a la humedad de compactación (Montejo Fonseca, 2002).

Durabilidad

Se refiere a la resistencia al intemperismo, a la erosión o abrasión, es decir a su comportamiento antes cargas de tráfico. Son difíciles de medir ya que no reproducen de forma eficiente el ataque al que son expuestos. Por lo que ha sido una de las propiedades más difíciles de cuantificar y la solución ha sido la de sobredimensionar (Montejo Fonseca, 2002).

Debido a la necesidad de mejorar las propiedades mencionadas anteriormente, es necesario recurrir a la estabilización de suelos, principalmente en el caso de que no cumplan con las especificaciones requeridas según las normas. Sin embargo, en función del tipo de suelo y de las propiedades que se desea mejorar, se puede optar por diferentes métodos de estabilización los cuales se puede clasificar en: estabilización física, estabilización química y estabilización mecánica (Kézdi, 1979).

2.1.3.1. Estabilización física

Estos métodos buscan reacciones físicas las cuales llevan a la estabilización del suelo entre estas se pueden incluir los cambios de temperatura, hidratación, evaporación y absorción (Kézdi, 1979).

2.1.3.2. Estabilización química

Este método consiste en la adición de sustancias como cal, cemento, asfalto, cloruros y polímeros o resinas para mejorar las propiedades del suelo (Montejo Fonseca, 2002). Estas sustancias pueden producir intercambios iónicos cambiando las propiedades de adsorción, pueden producir nuevos componentes con mejores propiedades (Kézdi, 1979). Las más utilizadas en nuestro medio son cal, cemento y asfalto.



2.1.3.3. Estabilización mecánica

Este método consiste en estabilizar los suelos sin adicionar agentes externos. Las propiedades pueden ser mejoradas mediante la reducción de volumen de vacíos por compactación por drenaje y mantenimiento del contenido de agua a niveles constantes y por la mezcla de diferentes tipos de suelos (Kézdi, 1979).

2.1.3.4. Tipos de estabilización química para carreteras.

I. Estabilización con material bituminoso

Este tipo de estabilización consiste en mejorar la capacidad de los suelos mediante la adición de emulsión asfáltica que mediante métodos mecánicos forma una capa que recubre las partículas de suelo, con el fin de mejorar la cohesión del suelo y disminuir su permeabilidad para arenas o solo la permeabilidad para arcillas con el fin de protegerlo contra la acción del agua (Montejo Fonseca, 2002).

a) Estabilización con asfalto líquido

La estabilización con asfalto es realizada con asfalto líquido o también llamado asfaltos rebajados (cutbacks). Este material bituminoso es una modificación al asfalto normal; un asfalto líquido, a diferencia de un asfalto convencional, tiene una viscosidad, la cual, es temporalmente reducida gracias a la adición de un agente fluidificante volátil. Entre los agentes fluidificantes “cutbacks” que pueden ser añadidos se encuentran: nafta, kerosene, combustible de turbinas, diésel y gasolina. Según sea el tipo de fluidificante añadido y su proporción, los asfaltos líquidos pueden ser de curado rápido, medio o lento (Lay, 2009).

La estabilización con asfalto líquido, para su uso en carreteras, puede realizarse en una gran variedad de suelos. Para suelos o agregados con gran presencia de agregado grueso y poco material fino, es decir, aquellos que cuentan con una importante cantidad de espacios vacíos, es recomendable el uso de asfaltos líquidos de curado rápido a medio. En el caso de suelos bien graduados con poco o nulo material pasante del tamiz N° 200 pueden usarse asfaltos de curado rápido, medio o lento. Finalmente, para suelos con una considerable proporción de material fino pasante del tamiz N° 200 es recomendable el uso de asfaltos de curado medio o lento (Kestler, 2009).



La cantidad de asfalto líquido que se debe añadir al suelo debe ser calculada mediante la ayuda de ensayos de laboratorio. Uno de los métodos más usados para determinar esta proporción es el método Marshall, el cual analiza la estabilidad de la mezcla (Kestler, 2009).

b) Estabilización con emulsión asfáltica

La estabilización con emulsión asfáltica de suelos trabaja de manera que los glóbulos microscópicos de asfalto que están rodeados y suspendidos en un medio acuoso, hacen contacto con la parte arcillosa del suelo y a medida el agua de la emulsión se evapora, los glóbulos de asfalto forman una fina película que rodea a las partículas de arcilla, cuando esté totalmente seca (Caparó & Escalante, 2015).

La estabilización con emulsión es la mezcla entre emulsión y materiales minerales naturales para conformar una buena base o subbase de la futura estructura de una carretera o conformar la capa de rodamiento de carreteras terciarias. El suelo tratado con la emulsión de asfalto presenta un incremento en su cohesión por ende en la resistencia e impermeabilidad, protegiéndolo bajo la acción del agua (De la Torre Illescas, 2018).

Se ahondará en detalles al respecto de este tema dentro del literal 2.3 ya que este tema compete directamente al desarrollo del presente trabajo.

c) Estabilización con alquitrán

El alquitrán es una sustancia procedente de la destilación destructiva, ya sea del carbón, petróleo y materia vegetal o animal. Los alquitranes más comúnmente utilizados en el área vial son alquitranes de carbón, cuyo mayor componente es la brea; aunque también contienen aceites de antraceno, y otros aceites medianos y pesados (Kézdi, 1979).

En cuanto a la estabilización con alquitrán, una norma general para la aplicación de este producto es que se debe usar el alquitrán más espeso posible; siempre y cuando las condiciones tanto climáticas como las facilidades de construcción de la carretera lo permitan (Kézdi, 1979).

La estabilización del suelo ocurre cuando el alquitrán se adhiere a las partículas de suelo, y con ello se generan varios efectos como: la mejora en las propiedades de fricción interna del suelo, el aumento de la cohesión, determinada por la resistencia viscosa; y finalmente un efecto de capilaridad que depende del espesor de la capa de alquitrán intergranular (Kézdi, 1979).

El uso de alquitrán para estabilizar suelos se extiende a una gran variedad de ellos, especialmente



si estos son bien graduados y cuentan con material fino pasante el tamiz #200, también conocido como filler. Los únicos suelos que pueden presentar problemas son las arenas con tamaño de partículas uniforme, a las cuales se debe añadir material filler para solventar dichos problemas. La solución más recomendada es la adición de puzolanas la cual genera enlaces más fuertes. También es importante la adición de agua antes del alquitrán ya que esto permite un mejor recubrimiento del material, independientemente del tipo de suelo (Nagyváti, 1959).

La dosis óptima de alquitrán, agua y puzolanas debe ser encontrada mediante ensayos de compresión inconfiada (Kézdi, 1979).

II. Estabilización con cemento

El cemento se usa como componente estabilizante para suelos, particularmente en construcción de carreteras y presas de tierra. El cemento se usa para estabilizar suelos arenosos y arcillosos, ayuda a disminuir el límite líquido y a incrementar el índice de plasticidad y su manejabilidad. El cemento reacciona con el suelo generando dos procesos: 1) Los silicatos cálcicos del cemento afectan al agua convirtiéndola en alcalina, la abundancia de calcio es usado por el suelo para modificar sus cargas superficiales. 2) Una vez que los iones de calcio son absorbidos por el suelo, el cemento se adhiere a sus partículas, originando una cohesión que aumenta la resistencia al corte del suelo.

Para suelos arcillosos, la estabilización con cemento es efectiva cuando el límite líquido es menor a 45 % y el índice de plasticidad es menor a 18 %, para lograr un proceso efectivo se debe modificar la humedad del material, compactar a la máxima densidad e incorporar cemento suficiente para que se reduzca la pérdida de peso. La reacción es desfavorable cuando el suelo contiene materia orgánica, pues los ácidos orgánicos poseen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento y los captan afectando el proceso de adherencia entre el cemento y los suelos gruesos o la estabilización de las partículas laminares en las arcillas. Por tal razón en varios países se recomienda que el suelo no sobrepase del 1 al 2 % del contenido de materia orgánica (Montejo Foncesa, Montejo Piratova, & Montejo Piratova, 2018). Salvo estos parámetros, los demás tipos de suelos se pueden tratar con este método, pero si los materiales son mal graduados requieren mayor cantidad de cemento para lograr el efecto deseado (Gutiérrez Montes, 2010). La dosificación se obtiene mediante los ensayos de CBR o de resistencia a



compresión a la que se desea alcanzar. Los porcentajes de cemento mínimos se adoptan entre 2 a 3 % según el tipo de suelo, con el fin de garantizar una cierta homogeneidad del contenido de cemento en todos los puntos tras el mezclado. Para su adecuada durabilidad se verifica su correcta dosificación y contenido de humedad con la resistencia a los 7 días, la cual no debe ser inferior a 1.5 MPa. (Instituto español del cemento y sus aplicaciones; Asociación nacional técnica de estabilización de suelos y reciclado de firmes; Asociación nacional de fabricantes de cales y derivados de España, n/s)

III. Estabilización con cal

La cal o compuestos de calcio son materiales útiles en la estabilización de suelos. Para el tratamiento de los suelos se usa la cal viva o carbonato de calcio, la cal hidratada o hidróxido de calcio, o también lechadas de cal (Nacional Lime Association, 2004). La estabilización con cal obedece a un fenómeno físico químico producido entre la mezcla de suelo y cal. La cal es disuelta con el agua, lo cual aumenta su pH a más de 12, lo cual solubiliza los minerales contenidos en las partículas de suelo. Luego suceden dos reacciones químicas. La primera reacción es inmediata, en la cual los cationes de la estructura molecular de sílice y alúmina son sustituidos por cationes de calcio; esto forma, consecuentemente hidratos sílico cálcicos y aluminico cálcicos. Estos nuevos compuestos reducen la capa de agua de adsorción de las partículas estabilizadas, mejoran su trabajabilidad e incrementan la fricción interna del suelo. La segunda reacción es la de carbonatación, la cual se trata de una reacción puzolánica donde se forman compuestos cementantes que adquieren mayor resistencia con el tiempo (Marquez).

La estabilización con cal puede ser aplicada en una gran variedad de suelos, siendo las propiedades mineralógicas de estos un factor importante en la resistencia obtenida con la estabilización. Los suelos más aptos para una estabilización con cal son aquellos arcillosos cuyo contenido de finos es mayor al 25 % y un índice de plasticidad mayor al 10 % según la Nacional Lime Association (2004). Los porcentajes de cal a añadir al suelo recomendados, con respecto al peso seco del suelo están en el orden del 3 al 6 % en subrasante y del 2 al 4 %.

IV. Estabilización con cloruros

Estos productos químicos mejoran sensiblemente la capacidad de los suelos para soportar las cargas de tráfico. Estos productos pueden ser el cloruro de calcio, cloruro de sodio, cloruro de magnesio.



a) Estabilización con cloruro de calcio.

Este método nació de la aplicación de agua de mar como paliativo del polvo. Se observó que, al regar agua salada, los efectos eran más duraderos que regar con agua dulce. Con fines investigativos se usó las sales contenidas en el agua salada en carreteras, una de estas era el cloruro de calcio que resultó muy eficiente en la reducción del polvo. Posteriormente con los estudios realizados se observó que responde de mejor manera las carreteras con materiales con granulometría bien graduada, partículas de varios tamaños y pocos finos (Mateos, 1961).

Los propósitos de añadir cloruro de calcio es mantener el contenido de humedad de los materiales por un tiempo más prolongado, debido a que la presión de vapor de esta mezcla entre cloruro de calcio y agua es más baja, lo que retrasa la evaporación. También se ha observado que la densidad aumenta ligeramente para el mismo esfuerzo de compactación. Otro beneficio es la rebaja de la temperatura a la que se congela el agua del suelo reduciendo las posibilidades de que los materiales sufran las consecuencias de las heladas en climas fríos. Estos beneficios son temporales en pavimentos permeables ya que esta sal es disuelta y arrastrada por el agua que se infiltra. Estos productos también se utilizan previo a la estabilización suelo-cemento, ya que elimina el efecto pernicioso de los suelos ácido-orgánico incorporando iones calcio adicionales equilibrando la demanda de los ácidos orgánicos, impidiendo que estos reaccionen con el calcio del cemento (Mateos, 1961).

Se recomienda utilizar de 5 a 10 kilogramos de cloruro por cada tonelada de suelo a tratar, en aplicaciones superficiales se puede aplicar medio kilogramo por metro cuadrado. Este método de estabilización se puede emplear varios suelos como: grava-arcilla, grava-arena-arcilla, grava-arena y caliza machacada (Mateos, 1961).

b) Estabilización con cloruro de magnesio

El cloruro de magnesio hexahidratado es una sal cuya fórmula química es $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, y tiene la forma de cristales de color blanco. También recibe el químico de bischofita hexahidratado, es utilizado como estabilizador químico de suelos ya que reduce el deterioro superficial de las carpetas granulares de rodadura, como también controla la emisión de polvo (Gutiérrez Montes, 2010).

Este es un compuesto químico natural que facilita la captación y retención de agua en zonas semidesiertas.



La Bischofita se usa en la estabilización de caminos no pavimentados, se lo puede aplicar en cualquier tipo de suelo, sin embargo, se obtiene un mejor desempeño en suelos que poseen estabilidad mecánica ($CBR > 50 - 60$ % saturado o no sumergido según requerimientos del proyecto), además de cumplir ciertos requerimientos de granulometría y plasticidad (Gutiérrez Montes, 2010).

Otro beneficio de la Bischofita es la de supresor de polvo en caminos no pavimentados, manteniendo húmeda la superficie de las carreteras, esto se debe a que es una sustancia muy higroscópica, es decir, tiene la habilidad de absorber la humedad del ambiente. En carreteras de clima húmedo absorbe y retiene el agua de la atmósfera y suelo circundante para controlar efectivamente el polvo. En climas muy áridos donde la humedad es demasiado baja, se requiere aplicar riegos ocasionales de agua sobre el área tratada con la finalidad de hidratar (Gutiérrez Montes, 2010).

La estabilización del suelo con Bischofita produce mejoras en: La estabilidad volumétrica, incremento en la resistencia, mejorar las características impermeables debido a que une las partículas y evita el flujo de agua, brinda resistencia al intemperismo, a la erosión o abrasión debido al tráfico (Gutiérrez Montes, 2010).

c) Estabilización con cloruro de sodio

Cloruro de sodio se presenta en forma de cristales, fácilmente solubles en agua los cuales son higroscópicos, esta sal se obtiene de 3 métodos: Empleo de calor produciendo evaporación del agua salada, con lo que se obtienen los residuos de sal. Otro método es la extracción directa de las minas de sal, y la evaporación de las aguas de mar mediante el empleo de hornos.

Con la implementación de sal al agua, se puede abatir la temperatura de congelamiento. Se han reportado casos en los que el empleo de 2 a 3 % de sal abatió el punto de congelamiento de un suelo hasta 2°C (Gutiérrez Montes, 2010).

Con este método de estabilización existe una discusión sobre el cambio de peso volumétrico, algunos investigadores aseguran un pequeño incremento, otros no han encontrado tal caso. En lo que sí parece existir un común es en el que la adición disminuye la humedad óptima (Gutiérrez Montes, 2010).

V. Estabilización con polímeros o resinas

Las emulsiones sintéticas poliméricas o también conocidas por los nombres de acetato de vinilo



y acrílico de vinilo. Estos compuestos son productos derivados de la fabricación de pinturas y adhesivos. Estos agentes químicos tienen como principal objetivo la reducción del polvo producido en las carreteras no pavimentadas; esto se logra mediante la creación de enlaces químicos entre partículas de suelo que impiden la penetración del agua. La fuerza de dichos enlaces entre partículas depende del tipo de suelo y la dosificación, ya que, la acción de esas sustancias puede causar desde la supresión de polvo en suelos con partículas muy finas, hasta la creación de una capa de rodadura fuerte en altas dosis con agregados graduados (FHWA, 2005).

En general los polímeros pueden ser usados para estabilizar varios suelos como arenas, limos y arcillas; sin embargo, los suelos a los que mejor se acomoda este tipo de estabilización son los suelos limosos con un porcentaje de finos entre el 5 y 20 %, y un índice de plasticidad menor a 8. La cantidad de producto a añadir para la estabilización es el porcentaje que logre una resistencia inconfiada del suelo de 5.5 a 15.1 MPa (FHWA, 2005).

El uso de polímeros como estabilizantes es recomendado para carreteras de bajo tránsito, es decir, con un TPDA de menos de 250. Los suelos tratados con estos productos tampoco deben experimentar climas húmedos prolongados de más de dos semanas, ya que disminuye su resistencia a la abrasión. Este tipo de estabilizante no debe ser colocado si las temperaturas son menores a 6 °C. La vida útil de un suelo al que se le ha aplicado polímeros es de seis meses a un año para supresión de polvo y de cinco a diez años para estabilización de capa de rodadura; tomando en cuenta un mantenimiento cada dos años en cual que se aplique una capa del producto (FHWA, 2005).

2.1.3.5. Estabilización con emulsión asfáltica para carreteras

I. Emulsión asfáltica

Definición de emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica es un conjunto formado por líquidos no miscibles; el agua (como agente dispersante) y el asfalto (como agente dispersado). Adicionalmente se tiene el emulgente el cual se deposita en la interfaz entre el agua y el asfalto que estabiliza la emulsión, de este emulgente depende el tipo de emulsión que se requiere. El asfalto se encuentra esparcido en forma de gotas muy pequeñas en una fase acuosa estabilizada, obteniéndose un producto relativamente fluido. El diámetro de las gotas varía entre 1 nanómetro y 1 micra. Las emulsiones pueden ser



almacenadas, aplicadas y bombeadas a temperaturas mucho más bajas que otro tipo de estabilización con asfalto (Secretaria de comunicaciones y transporte, Intituto mexicano del transporte, 2001).

Componentes de las emulsiones asfálticas

Los componentes básicos de la emulsión asfáltica son:

- a) Asfalto: Es el principal componente de la emulsión asfáltica y constituye entre el 55 % y 70 % de la misma. El asfalto proviene principalmente de la refinación del crudo de petróleo, está compuesto básicamente de grandes moléculas de hidrocarburos y su composición química es variable, la estructura coloidal depende de la naturaleza química y del porcentaje de moléculas de hidrocarburos, entonces el asfalto depende de las fuentes del crudo y de los métodos de refinación (Instituto del Asfalto, 2005).
- b) Agua: El agua es la que humedece y disuelve la solución, El agua debe ser pura y libre de materias extrañas para evitar desequilibrio en los componentes de la emulsión, estas partículas extrañas pueden afectar la mezcla y puede causar una ruptura prematura.
- c) Agente emulsificante: Es el menor componente de la solución, pero es importante ya que su función principal es de estabilizar y evitar la coalescencia (unión de los glóbulos de cemento asfáltico o las gotas de cemento asfáltico). El agente emulsificante es el que controla el tiempo de ruptura de la emulsión y es el que clasifica a las emulsiones asfálticas como aniónicas y catiónicas (Instituto del Asfalto, 2005).

Este agente emulsificante en su mayoría son aminas grasas por ejemplo diaminas, imidazolininas y amido aminas. Las aminas se convierten en jabón al reaccionar con ácido clorhídrico. Otro tipo de agente emulsificante son las sales grasas cuaternarias de amonio estas no requieren de la adición de ácidos (Instituto del Asfalto, 2005).

Historia del uso emulsión asfáltica como estabilizador en carreteras

En esta sección se presenta un breve resumen sobre la historia de la emulsión asfáltica extraída del Instituto del Asfalto (2005).

Las emulsiones del tipo asfálticas aparecieron a principios del siglo XX en algunos lugares. A principios de 1900 se empleó por primera vez en la construcción de carreteras en la ciudad de New York, se utilizó la emulsión aniónica para reemplazar la construcción de caminos con



materiales pétreos y como alternativa para evitar el polvo cuando transitaban los vehículos.

En 1914 en el estado de Indiana comenzó a realizar trabajos de reparación de caminos empleando estas emulsiones aniónicas. En este mismo año en Hamburgo, Alemania se utilizó en la construcción de una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varias capas, empleando una emulsión asfáltica.

En el resto de Europa se empezó a utilizar en 1925, en la fabricación de estas aprovechando los ácidos nafténicos contenidos en el asfalto para que actuaran como el agente emulsificante en el momento de agregar agua.

En México las emulsiones asfálticas empezaron a utilizarse de 1930 a 1935 para la construcción de caminos, pero debido a su largo tiempo de rompimiento de la emulsión y que en épocas de lluvia provocaba retrasos y problemas en la construcción, por lo que los asfaltos rebajados ganaron preferencia ante las emulsiones asfálticas.

Las emulsiones asfálticas catiónicas aparecieron en Europa en 1953 y en Estados Unidos en 1958. La aplicación de este tipo de emulsión coincide con la utilización en otros usos como en el campo de las pinturas, en la industria textil, etc.

La emulsión catiónica en su principio se utilizó en el tratamiento superficial, como riego de liga y de sello. Al reconocer la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas, se inició la búsqueda de un emulsificante que produjera una emulsión de rompimiento lento, capaz de mezclarse con una granulometría.

En 1960 las emulsiones catiónicas se conocieron en México. En ese mismo año se hicieron varias pruebas y los ingenieros mexicanos presentaron en el congreso Panamericano de Carreteras en Bogotá, Colombia, un trabajo titulado "Primeras investigaciones realizadas en México con emulsiones asfálticas catiónicas".

Debido a la crisis energética en los años 70, y a que, en 1973, los países árabes, poseedores de la mayoría del petróleo del mundo aumentaron el valor del barril de petróleo crudo resultando afectados los derivados del mismo, entre ellos los solventes empleados en los asfaltos rebajados, el uso de las emulsiones asfálticas se vio aumentado porque no requiere de solventes de petróleo para ser líquido y debido a que se puede emplear sin necesidad de calentarlo, ahorrando energía. A partir de estos acontecimientos, se ha empezado a utilizar la emulsión asfáltica como estabilizante de suelos para carreteras.



Los países con mayor producción de emulsiones asfálticas son: Estados Unidos, Francia, España y Japón, estos países fabrican aproximadamente un 40 % de la producción mundial.

Tipos de emulsión asfáltica

Existen varios criterios para la clasificación de las emulsiones asfálticas. Los dos más importantes son: la clasificación según las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto, y la segunda clasificación se basa en la velocidad con la que las gotas de asfalto se juntan y restauran el volumen de dicho cemento asfáltico (Instituto del Asfalto, 2005).

a) Según su carga eléctrica

Según el Instituto del Asfalto (2005) las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas según su carga eléctrica en:

- Emulsiones catiónicas: Son aquellas en la que el agente emulsificante les otorga una carga positiva a sus glóbulos.
- Emulsiones aniónicas: Debido a la adición de un emulsificante los glóbulos de la emulsión adquieren una carga negativa.
- Emulsiones no iónicas: En estas emulsiones el agente emulsificante no confiere ninguna carga a las partículas de asfalto, es decir, no emigran a polo alguno.

b) Según su “rotura”

- De rotura rápida (CRS): Tienen poca o ninguna capacidad para mezclarse con agregados, básicamente tiene alta viscosidad y con esto se evita el fenómeno de escurrimiento. Son normalmente utilizadas para riegos de liga y carpetas por sistemas de riego (Rodríguez Talavera, Castaño Meneses, & Martínez Madrid, 2001).
- De rotura media (CMS): No se rompen al instante que tienen contacto con los agregados, esta cualidad permite que sea manejable por un periodo de tiempo determinado. Usadas comúnmente en mezclas para carpetas en frío elaboradas en planta cuando la cantidad de finos es menor al 2 %. También es usada en obras de mantenimiento de carreteras (Rodríguez et al., 2001).
- De rotura lenta (CSS): Estas emulsiones son diseñadas para tener una buena mezcla con los agregados, su largo tiempo para la manipulación asegura un buen recubrimiento de los agregados y materia fina. Este tipo de emulsiones también se emplean para la



elaboración de carpetas en frío en planta; aunque también son usadas para estabilizaciones de suelos (Rodríguez et al., 2001).

c) Otras clasificaciones

Las emulsiones asfálticas pueden clasificarse siguiendo otros criterios, estos grados de emulsiones dependen de las entidades que la regulan. Tomando en cuenta las nomenclaturas y especificaciones normalizadas por la ASTM y la AASHTO, también se puede diferenciar entre tipos de emulsión según su viscosidad relativa (siendo la de grado 1 menos viscosa y la de grado 2 más viscosa); también se tiene su diferenciación por consistencia (siendo h “dura” y s “suave”). Algunos tipos de emulsiones aniónicas también pueden ser de alta flotación “HF”; otras emulsiones que han sido modificadas con polímeros dan lugar a otros tipos que son representados con las letras P, S o I (Instituto del Asfalto, 2005).

Fabricación de la emulsión asfáltica

El proceso de fabricación de las emulsiones asfálticas se basó en el artículo Preparación de Emulsiones Asfálticas en Laboratorio realizado por el Ing. Andrea Ulloa Calderón y el video de PDVSA asfalto, Emulsiones Asfálticas.

El objetivo principal para obtener emulsión asfáltica es producir gotas de asfalto de un tamaño lo suficientemente pequeño para que puedan mantenerse en una suspensión acuosa y poder controlar el tiempo de rompimiento.

Los equipos que se requieren para lograr producir emulsión asfáltica es un molino coloidal, el cual es un dispositivo que contiene un rotor, que trabaja a una alta velocidad de corte, que logra dividir las pequeñas partículas de asfalto de 0.25 a 0.50 mm en mucho más pequeñas con tamaño entre 0.001 a 0.010 mm máximo, equipos de bombeo y tanques de almacenamiento para los elementos de solución acuosa y asfalto.

Para el proceso de emulsificación se debe tener definido el tipo de emulsificante que se va añadir, en su mayoría se suele utilizar grasas aminas que al reaccionar con ácidos se convierte en fases jabonosas, este ácido que para dicha reacción es usualmente utilizado el ácido clorhídrico o ácido fosfórico, los cuales modifican el tiempo de rompimiento de la emulsión asfáltica.

El proceso para cualquiera de los tipos de rompimiento se puede resumir a continuación:



a) Formulación

Primeramente, se debe contar con una formulación de cada uno de los componentes, especificando las cantidades porcentuales óptimas para cada dosificación de agua, emulsificante, asfalto y polímeros en caso que se requiera modificar. Se debe especificar la temperatura de trabajo y el proceso de dosificación. A continuación, se presenta en la Tabla N° 2 los porcentajes típicos de los ingredientes para la preparación de los diferentes tipos de emulsiones.

Tabla N° 2. Porcentaje de dosificaciones típicas para la preparación de una emulsión asfáltica (Ulloa Calderón, 2012).

Ingrediente	Rangos de dosificación (%)			
	CRS	CMS	CSS	CSS-1h
Asfalto	65	60	60 - 65	60 - 65
Emulsificante	0.1 – 0.25	0.4 – 0.6	1.5 – 2.5	0.8 – 1.8
Polímero (Aditivo)	-	-	3	3
Agua	Hasta completar el 100 % = $100 - \sum (\% \text{Asfalto} + \% \text{Emulsificante} + \% \text{Polímero})$			
Acido (HCl o H ₃ PO ₄)	2 - 4	2 - 3	1.5 – 2.5	1.5 – 2.5
Fase jabonosa (Agua emulsificante y ácido)	100 - % Asfalto			

(CRS: emulsión catiónica de rompimiento rápido, CMS: emulsión catiónica rompimiento medio, CSS: emulsión catiónica rompimiento lento, CSS-1h: emulsión catiónica rompimiento Controlado)

b) Preparación de la fase jabonosa o acuosa

Es necesario preparar la solución acuosa previamente y almacenar en unos tanques a una temperatura adecuada de más de 40 °C. La solución acuosa se prepara mezclando el agua calentada a una temperatura entre 60 °C a 65 °C y el emulsificante que usualmente son grasas aminas que se obtienen a partir de la grasa animal o vegetal. Posterior a la mezcla se debe controlar el pH adicionando ácidos hasta alcanzar el valor adecuado. Finalmente se mantiene a una temperatura constante de entre 60 a 85 °C para posteriormente combinar con el asfalto.

c) Preparación del asfalto

El asfalto debe calentarse a temperatura previamente establecida, con el fin de bajar su viscosidad y que sea trabajable. Dicha temperatura se encuentra en el rango entre 125 °C a 140 °C. De modo que al mezclarse con la solución acuosa este no supere los 85 °C, puesto que si este supera los 100 °C el agua contenida en la solución se evapora acelerando el proceso de rompimiento de la emulsión.

d) Mezcla

Se prepara el molino coloidal y se bombea el asfalto y la solución acuosa caliente hacia el molino el cual con un sistema automatizado de control dosifica las proporciones adecuadas tanto de asfalto como de solución acuosa y les dirige hacia el cabezal del molino coloidal donde ocurre un alto cizallamiento y se forman las gotas de asfalto que van a estar dispersas en el agua, posterior se bombea hacia un tanque de almacenamiento.

e) Almacenamiento

La emulsión asfáltica como tal se almacena luego en tanque vertical donde se deja enfriar hasta llegar a temperatura ambiente, con la mezcla a temperatura ambiente ya se la puede utilizar.

Para emulsiones de rompimiento lento se recomienda mantener la mezcla de emulsión asfáltica a una temperatura de 60 °C durante 24 horas debido a que requieren un periodo más prolongado para que el proceso concluya antes de poder utilizarlo.

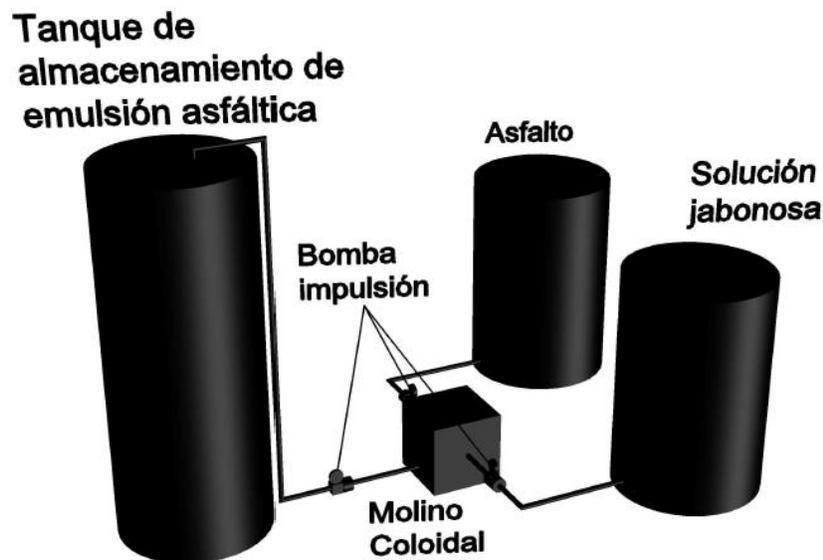


Figura N° 2. Esquema del proceso de elaboración de emulsión asfáltica (Video PDVSA Asfalto, Emulsiones asfálticas).

Ensayos de verificación de calidad de las emulsiones asfálticas

Consiste en varios ensayos que se realizan sobre la emulsión asfáltica para determinar si cumple con las especificaciones requeridas de las normativas. Los cuales se describen a continuación:



- *Viscosidad Saybolt Furol* (NTE INEN 1981, 2013)

Este ensayo cuantifica el estado de fluidez de la emulsión a la temperatura de estudio. Se lleva a cabo con un viscosímetro de tipo Saybolt, en el cual se mide el tiempo en que la muestra de emulsión llena un matraz aforado de 60 ml. Este tiempo se utiliza como una característica del tipo de rompimiento de una emulsión: rápida, media o lenta. Los resultados se reportan en segundo Saybolt Furol, y por conveniencia y precisión de ensayo, se lo realiza a dos temperaturas a 25 °C y 50 °C, los cuales abarcan el intervalo de temperatura de trabajo normal.

- *Asentamiento 5 días* (NTE INEN 910, 2013)

Este ensayo determina el asentamiento de las emulsiones asfálticas, consiste en colocar 500 cm³ de emulsión asfáltica en cada uno de los dos cilindros, taparlos y dejarlos reposar durante 5 días, Luego de este periodo, extraer mediante pipeta aproximadamente 55 cm³ de emulsión, medidos desde la superficie de cada cilindro sin causar agitación. Mezclar cada porción de muestra; pesar 50 gramos de cada muestra en vasos de precipitados de 600 cm³ de capacidad y determinar el residuo asfáltico por evaporación, de acuerdo a la INEN 905 luego de obtener la primera muestra, extraer con la pipeta aproximadamente 390 cm³ de cada cilindro, mezclar completamente y extraer 50 gramos dentro de vasos de precipitados de 600 cm³ de capacidad de acuerdo a la Norma INEN 905, el asentamiento es igual a la diferencia de los porcentajes promedios de residuos de la muestra del fondo y las de la superficie.

- *Estabilidad de almacenamiento 24h* (NTE INEN 909, 2013)

El objetivo de este ensayo es determinar un índice de tendencia de las gotas de asfalto al sedimentarse durante el almacenamiento de la emulsión. El ensayo consiste en colocar 500 ml de emulsión en recipiente de vidrio (probeta) y se deja en reposo durante cierto tiempo a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo, se destapa y se toman 55 ml de la parte superior e inferior de cada una, intentando no alterar el resto de la muestra, y se examina el residuo asfáltico por evaporación. El asentamiento es la diferencia de los porcentajes de asfalto de la parte inferior y superior, el valor máximo permisible de asentamiento es de 5 % para cualquier emulsión.



- *Demulsibilidad* (NTE INEN 902, 2013)

Este ensayo determina la rotura química de las emulsiones asfálticas y consiste en obtener el porcentaje de asfalto activo cuando la emulsión asfáltica es forzada a romper mediante un agente químico. Solo tiene aplicación con emulsiones asfálticas de rompimiento rápido y medio. Para emulsiones aniónicas se utiliza una solución de cloruro de calcio para emulsiones catiónicas dioctilsulfosuccinato de sodio.

- *Capacidad de cubrimiento, adhesividad* (NTE INEN 903, 2013)

Este ensayo tiene como propósito determinar la facilidad con la que una emulsión puede recubrir completamente un material determinado "agregado", que soporte la acción de mezclado al permanecer como una película sobre el agregado, y resistir la acción del agua del lavado, después de completar el mezclado.

- *Carga de partícula, carga eléctrica* (NTE INEN 908, 2013)

Este ensayo permite identificar el tipo de emulsión aniónica o catiónica, basándose en la carga eléctrica que poseen los glóbulos de asfalto. El ensayo consiste en sumergir unos electrodos en una muestra de la emulsión, y hacer pasar una corriente eléctrica durante cierto tiempo, luego del cual se examina visualmente los electrodos. El electrodo con mayor deposición de asfalto libre determina el tipo de emulsión, las emulsiones catiónicas son las que presentan una deposición de material bituminoso en el electrodo. Otra forma es medir el tiempo en que la lectura de la intensidad de corriente pasa de 8 mA a 2 mA (miliamperios). Para clasificar a la emulsión según el tiempo de duración en pasar la corriente se presenta la Tabla N° 3.

Tabla N° 3. Escala de tiempo para identificar el tipo de emulsión (Mercado, Bracho, & Avendaño, 2008).

Tipo de emulsión	Tiempo (min)
Rápida	3 – 15
Media	15 – 45
Lenta	45 – 90
Muy estable	No es posible medirlo

- *Residuo por destilación* (NTE INEN 901, 2013)

Con este ensayo se determina las proporciones de agua y residuo asfáltico de la emulsión (y solvente, en caso de un asfalto rebajado). Se calienta 200 g de emulsión hasta temperatura de



260 °C durante 15 minutos, para permitir la evaporación del agua y obtener el residuo.

- *Residuo por evaporación* (NTE INEN 905, 2013)

Con este ensayo se determina el residuo de las emulsiones asfálticas mediante evaporación rápida. Consiste en determinar el contenido de asfalto en el menor tiempo posible por diferencia de peso. Primero determinar el peso de 3 recipientes de vidrio con sus varillas respectivas y posterior pesar 50 ± 0.1 g de emulsión asfálticas dentro de los vasos. Se calienta en la estufa a 163 ± 3 °C por 2 horas los recipientes con las muestras de emulsión, retirar cada vaso y agitarlo, volver a colocar en la estufa durante una hora y luego procede a retirar dejar a temperatura ambiente. Por último, pesa cada vaso con sus respectivas varillas y sus residuos. El porcentaje residual de emulsión es la diferencia de pesos del peso del vaso, varilla y residuo menos el peso inicial del vaso y la varilla

Ensayos sobre residuos:

- *Penetración* (NTE INEN 917, 2013)

Este ensayo se lo realiza al asfalto residual después de que se ha roto la emulsión y se eliminó la fase acuosa. Se calienta la muestra hasta obtener una consistencia fluida, se la deja enfriar bajo condiciones controladas y se la coloca en un baño de agua a 25 °C por un tiempo especificado. Se coloca la muestra en el penetrómetro y se deja caer una aguja por un tiempo de 5 segundos y se mide la penetración.

- *Ductilidad* (NTE INEN 916, 2013)

Este ensayo determina la ductilidad de materiales bituminosos, consiste en medir la distancia que se alarga la muestra antes de la ruptura, cuando se la estira a una velocidad y temperatura específicas; temperatura de 25 ± 0.5 °C y a una velocidad de 5cm/min $\pm 5.0\%$.

- *Solubilidad en tricloroetileno* (NTE INEN 915, 2013)

Este ensayo determina el grado de solubilidad en tricloroetileno de los materiales bituminosos, consisten en lograr que una muestra se disuelva en tricloroetileno y se filtre a través de una esterilla de asbesto; el material insoluble se lava, seca y se pesa.

- *Índice de rotura*

Este ensayo se basa en la actividad de la emulsión en presencia de materiales finos, y permite



medir la velocidad de rotura de la emulsión en condiciones normales, empleando un material de referencia que puede ser cemento Portland o polvo de sílice, según el tipo de emulsión a estudiar. En una cantidad de emulsión se introduce el relleno a cierta velocidad (g/s) y con agitación constante para asegurar la homogeneidad, se añade el relleno hasta la rotura de la emulsión, y el índice de rotura se expresa como la relación entre la cantidad de relleno añadido y la cantidad de emulsión.

Los resultados de estos ensayos deben cumplir con ciertos valores preestablecidos en los requisitos fisicoquímicos especialmente para las emulsiones asfálticas catiónicas las cuales son las usadas en estabilización de carreteras. A continuación, se presenta la Tabla N° 4 con los requisitos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, Productos derivados del petróleo. Emulsiones asfálticas catiónicas. Requisito (NTE INEN 2062).

Tabla N° 4. Requisitos de la emulsión asfáltica catiónica (Instituto Ecuatoriana de Normalización, NTE INEN 2062, 2009).

Requisitos	Unidad	Tipo												Método de ensayo
		CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		
		mín.	máx.											
Viscosidad														
Furol, a 25 °C	SSF	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100	NTE INEN 1981
Furol, a 50 °C	SSF	20	100	100	450	50	400	50	450	-	-	-	-	NTE INEN 1981
Asentamiento, 5 días	%	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	NTE INEN 910
Estabilidad de almacenamiento 24 h	%	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	NTE INEN 909
Demulsibilidad	%	40	-	40	-	-	-	-	-	-	0	-	-	NTE INEN 902
Capacidad de cubrimiento:														
Agregado seco		-	-	-	-	bueno		bueno		-	-	-	-	NTE INEN 903
Después del rociado		-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-	
Agregado húmedo		-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-	
Después del rociado		-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-	
Carga de partícula		positivo		positivo		positivo		positivo		positivo		positivo		NTE INEN 908
Ensayo de tamizado	%m/m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	2.0	NTE INEN 904
Destilación:	%m/m	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	NTE INEN 906
Aceite destilado por volumen de:														
Emulsión	% V	-	3	-	3	-	12	-	-	-	-	-	-	NTE INEN 901
Residuo	% V	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-	
Ensayos sobre residuos:														
Penetración, a 25 °C, 100 g, 5 s	1/10mm	100	250	100	250	100	250	100	90	100	250	40	90	NTE INEN 917
Ductilidad. A 25 °C, 5 cm/min	cm	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	NTE INEN 916
Solubilidad en tricloroetileno	%m/m	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	NTE INEN 915

II. Materiales que participan en la mezcla estabilizada

a) Ligante



El ligante a emplearse en una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta y controlada, que corresponde a los tipos CSS-1 y CSS-1h. Se entiende por rotura controlada la propiedad que puede conferirse a cierta emulsión de regular su velocidad de rotura, de tal forma que sea posible conseguir un correcto recubrimiento de los agregados durante el tiempo de mezclado, que se empiece a romper inmediatamente luego de la compactación (Montejo et al., 2018).

Se recomienda utilizar este tipo de emulsión para lograr una buena recubrimiento y mezclado con el material mineral, y que su rotura sea lo suficiente lento para poder realizar la compactación correspondiente. Las especificaciones para este tipo de emulsión catiónica de rotura lenta se presentan a continuación.

b) Componente mineral (material pétreo)

Son los materiales naturales, no triturados de granulometría similar o parecida a los utilizados en capas subbase, los cuales requieren unas exigencias mínimas (Montejo et al., 2018).

En este caso de estudio el material pétreo se usará el ya existentes en las carreteras en su capa de rodadura que habitualmente son material de relleno o de mejoramiento, los cuales han sido depositados con el pasar de los años, como proceso de mantenimiento de las carreteras por parte de las diferentes entidades públicas que tienen bajo su supervisión dichas obras.

III. Interacción del suelo con la emulsión asfáltica

Existen procesos que se dan con la mezcla de la emulsión asfáltica con los agregados. En una situación ideal la emulsión asfáltica cubre los granos de suelo lo suficiente para no reducir de una manera perjudicial la fricción existente entre granos; pero al mismo tiempo, suficiente para que se manifieste una adhesión intermolecular entre partículas que al mismo tiempo provee de una protección contra la penetración del agua. El acomodo de partículas para que se den estas condiciones depende en gran medida de los esfuerzos aplicados a la mezcla, capaces de dispersar la película de emulsión de ciertos puntos de contacto entre partículas (Kézdi, 1979).

En el documento de Almeida & Sánchez (2011) cuando se tratan los suelos con o sin cohesión propia con ligantes bituminosos con el único propósito de lograr su estabilización, se debe destacar que existe una marcada diferencia en la conformación y comportamiento de la estructura inerte - betún según se utilice uno u otro material como árido. Por lo tanto, para comprender mejor el papel que desempeña en dicha estructura cada uno de sus componentes,



debe efectuarse el análisis teórico considerando las dos estructuras separadamente.

I. Sistema Suelo (arcilla) - Betún

En este sistema la estabilización de la estructura depende de la fricción interna del árido y de la cohesión del ligante arcilla-agua. El betún actúa como agente impermeabilizante impidiendo así el acceso del agua al suelo y su acción perjudicial sobre el ligante arcilla-agua.

En este sistema el betún la función primordial no es producir cohesión sino proteger la cohesión del ligante arcilla-agua. El funcionamiento del betún es que el ligante bituminoso obstruye los conductos capilares del suelo impidiendo el acceso de agua luego de que empieza a evaporarse la humedad del suelo, con el fin de que este adquiera la estabilidad necesaria para las sollicitaciones requeridas.

II. Sistema Arena - Betún

En este sistema, en donde el material carece de cohesión y el betún es el que incorpora cohesión y por ende la cantidad de betún es mayor al sistema anterior. La emulsión funciona como un recubrimiento de las partículas de arena y producir así un afecto ligante entre ellas. Un exceso de emulsión asfáltica puede afectar a la estabilidad del sistema por disminución de la resistencia friccional.

III. Sistema Granular - Betún

Para este sistema se debe descartar que pueden existir estabilización bituminosa donde cumpla con ambas funciones, aportando cohesión faltante e impermeabilizando el sistema.

IV. Diseño de la mezcla suelo-emulsión

El diseño consiste en determinar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica que confiere las características mínimas para soportar las sollicitaciones de cargas a las que estará sometida y además su correcta impermeabilización. Existen varios métodos para encontrar dicho porcentaje; entre los cuales se tiene:

Método del Dr. Gilly (Montejo et al., 2018).

Este método hace uso de la granulometría del material a estabilizar para obtener un porcentaje de emulsión teórico para la mezcla. Para determinar este porcentaje se hace uso la Ecuación N° 1.



$$E = \frac{0.43(0.05a + 0.10b + 0.5c)}{L}$$

Ecuación N° 1

Donde:

E = % de emulsión a emplear

a = % de material retenido en el tamiz N°10

b = % de material entre tamiz N°10 y N°200

c = % de material que pasa el tamiz N°200

L = Concentración del ligante en la emulsión

Método del profesor Duriez (Montejo et al., 2018).

Este método determina el porcentaje de emulsión asfáltica a emplear a través del cálculo de la superficie específica del material con la Ecuación N° 2.

$$\%L = K^5 \sqrt{S}$$

Ecuación N° 2

Donde:

L = % ligante residual, del que puede obtenerse el % de emulsión dividiendo por la concentración en tanto por uno.

K = módulo de riqueza; 3-4 para estabilizaciones

S = Superficie específica del material, el cual se obtiene de la Ecuación N° 3.

$$S = \frac{\sum(\% \text{ retenido en tamiz } \times F.S.E)}{100}$$

Ecuación N° 3

Con los valores de F.S.E (Factor de superficie específica) se puede apreciar en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5. F.S.E. para cada tamiz (Montejo et al., 2018).

% retenido en tamiz ASTM	F.S.E
3/4	0.11
1/2	0.16
3/8	0.22
No. 4	0.35
No. 8	0.71
No. 30	1.99
No. 200	11.14
Pasa No. 200	130.0

Método de la estabilidad por Marshall (ASTM D6927-15)

El método Marshall se refiere a un procedimiento aplicado a mezclas asfálticas con agregados, cuyo tamaño no supere los 25 mm. En este método se emplean probetas cilíndricas de 2.5



pulgadas de altura y 4 pulgadas de diámetro las cuales deben ser debidamente mezcladas y compactadas. Estas probetas son elaboradas con diferentes porcentajes de material asfáltico de las cuales se analiza las relaciones entre densidad y volumen de vacíos, así como la estabilidad y fluencia de las probetas compactadas.

La estabilidad de las probetas se refiere a la máxima carga en libras que puede resistir dicha probeta a una temperatura de 60°C a una velocidad de 2 pulgadas por minuto en el aparato Marshall. La fluencia o flujo, en cambio, es la deformación total que se produce en el espécimen entre el inicio del ensayo y la carga máxima durante la prueba de estabilidad medido en centésimas de pulgada (Wallace , Rogers, & Hugh, 1962).

En cuanto a estabilizaciones con emulsiones asfálticas existen diferentes tipos de modificaciones que se adecúan más a estos tipos de estudios como por ejemplo el método modificado de Illinois. Así también, existen diferentes criterios y valores límites para la selección del porcentaje de emulsión de la mezcla según las normativas de cada país y el tipo de capa a estabilizar.

Método de la compañía Chevron (Montejo et al., 2018)

Este método se diferencia del método Marshall y Hveem, porque es mejor para la estabilización de materiales con contenido apreciable de agregados gruesos, como es el caso de las gravas naturales (subbases) o suelos de la zona.

Como primer paso se debe caracterizar los agregados y ligantes. Posteriormente, se utiliza el método del Equivalente centrífugo de Kerosene, se coloca 100 g del material que pasa el tamiz No. 4 es centrifugado durante 2 minutos en presencia de kerosene para obtener la cantidad de asfalto residual de la emulsión. El kerosene retenido es el porcentaje de emulsión a emplear en la mezcla. Adicional se debe determinar el contenido óptimo de agua de envuelta; el cual se lo realiza únicamente con agregados inferiores a 3/4 pulgadas sustituyendo el material retenido en este tamiz por igual peso de material que pasa dicho tamiz y retenido en el de 1/2 pulgadas. Con diferentes cantidades de agua se realiza dicho ensayo hasta conseguir una envuelta satisfactoria, considerado suficiente cuando se consigue el 50 % de recubrimiento.

El contenido óptimo de fluidos de compactación; con diferentes porcentajes de agua añadida se fabrican probetas de 4 pulgadas de diámetro por 2.5 pulgadas de altura, utilizando el compactador de Hveem y carga estática de doble efecto de 40000 libras. De ellas se obtiene la curva densidad-humedad que proporciona la humedad correspondiente al óptimo de densidad.



Con los parámetros anteriores determinados. Se fabrican nuevamente probetas manteniendo la humedad óptima calculada, con 1.1, 1.4, 1.5 veces el contenido del ligante residual obtenido en el ensayo del Equivalente Centrifugo de Keroseno (CKE) las cuales se someten a condiciones de curado en seco y saturadas de agua, durante un cierto tiempo y condiciones climáticas.

Se ensayan las probetas en el estabilómetro de Hveem (R, estabilidad) y el cohesiómetro de Hveem (C, cohesión), a una temperatura de 23 ± 2.8 °C, como describe el método del instituto de asfalto para capas bases. Se prescribe una resistencia total, $R_t = R + 0.05 C$, entre 70 y 50 dependiendo de su utilización como base o subbase y tránsito.

Método del Departamento de Transporte de los Estados Unidos

Este método toma en consideración los porcentajes de suelo que pasan sobre los tamices N° 10 y N° 200, con los cuales se determina el peso de emulsión por 100 libras de material seco pasante el tamiz N° 10, según la Tabla N° 6.

Tabla N° 6. Requerimientos de la emulsión asfáltica (Departamento de Transporte de los Estados Unidos).

Porcentaje pasa tamiz N° 200	Libras de emulsión asfáltica por cada 100 libras de agregado seco con el porcentaje que pasas el tamiz N° 10					
	<50	60	70	80	90	100
0	6.0	6.3	6.5	6.7	7.0	7.2
2	6.3	6.5	6.7	7.0	7.2	7.5
4	6.5	6.7	7.0	7.2	7.5	7.7
6	6.7	7.0	7.2	7.5	7.7	7.9
8	7.0	7.2	7.5	7.7	7.9	8.2
10	7.2	7.5	7.7	7.9	8.2	8.34
12	7.5	7.7	7.9	8.2	8.4	8.6
14	7.2	7.5	7.7	7.9	8.2	8.4
16	7.0	7.2	7.5	7.7	7.9	8.2
18	6.7	7.0	7.2	7.5	7.9	7.9
20	6.5	6.7	7.0	7.2	7.5	7.6
22	6.3	6.5	6.7	7.0	7.2	7.5
24	6.0	6.3	6.5	6.7	7.0	7.2
25	6.2	6.4	6.6	6.9	7.1	7.3

V. Proceso constructivo

El proceso constructivo de una capa de material estabilizado se puede realizar de tres diferentes formas: mediante la mezcla en la vía, mezcla en planta y mezcla en una planta caminera. En el proceso constructivo se debe garantizar que haya una mezcla homogénea de los materiales; de



ahí la importancia de escoger un proceso constructivo adecuado.

Mezcla en vía

Este procedimiento se lo realiza, generalmente, cuando se requiere aprovechar el suelo disponible en el sitio de construcción, este siendo el caso más común en las obras viales; aunque también existe la posibilidad que la construcción de la capa estabilizada se realice a partir de material acopiado en la superficie explanada; o incluso con la mezcla de material existente y material nuevo.

El proceso de escarificación puede ser realizados mediante motoniveladora, pulvimixer o rastras de discos comúnmente (MOP-001, 2002).

Cuando se requiere el uso de una motoniveladora para la estabilización se debe procurar la conformación de un cordón de material formando una superficie plana en la parte superior, en la cual se procederá a incorporar el agua y la emulsión necesarias para la estabilización con la ayuda de un tanque irrigador. Una vez incorporados los agentes se realiza el mezclado.

En el caso de usar un pulvimixer o máquina estabilizadora, los cuales son equipos que se componen de un cajón que en su parte inferior consta de unas paletas que disgregan el suelo. La máquina también tiene una flauta de distribución por la cual se agrega el agua o emulsión, lo que permite la mezcla con el componente mineral. El cordón obtenido luego del mezclado debe ser extendido con la motoniveladora (Montejo et al., 2018). En la Figura N° 3 se puede observar la máquina estabilizadora perteneciente a la Prefectura del Azuay.



Figura N° 3. Máquina estabilizadora WIRTGEN DITECA WR 240.

Una vez obtenida una muestra homogénea, a esta se le debe proporcionar humedad extra con el fin de llegar a la humedad óptima a la que luego se procederá a compactar mediante rodillos, desde la parte de afuera hacia adentro (MOP-001, 2002).

Mezcla en planta

Si es que el material se encuentra en otro sitio al de la construcción de la carretera existe la posibilidad de realizar la estabilización del suelo con la emulsión asfáltica en una planta mezcladora ubicada en otro lugar.

La mezcla del material mineral con el agente estabilizante debe ser tratada como cualquier mezcla densa en frío. Un problema sobre el uso de plantas para el mezclado es la posibilidad de pérdida de humedad en la mezcla que ocurre en el transporte de la misma. Esta técnica no será justificable económicamente la mayoría de veces, ya que los materiales usados en la estabilización no son de gran calidad (Montejo et al., 2018).

Mezcla en planta caminera

Las plantas camineras son maquinaria instalada en el sitio de la construcción, donde estas reciben el componente mineral, agua y emulsión asfáltica en las dosificaciones requeridas. En estas plantas es posible realizar ajustes en cuanto a las propiedades de la mezcla como la



incorporación de estabilizantes, tiempos de mezclado, etc. (Montejo et al., 2018).

VI. Ventajas y desventajas del uso de emulsión asfáltica en carreteras (Torres Gracia, 2014)

Ventajas:

- Empleo de suelos existentes evitando explotar nuevos yacimientos o la compra de materiales pétreos y así disminuyendo la necesidad de vertederos y un ahorro económico en el transporte de los materiales pétreos.
- Eliminación del humus debido al calentamiento de ligante y áridos mediante quemadores de fuel o petróleo en plantas de asfalto en caliente.
- La estabilización se puede realizar en campo a temperatura ambiente, por lo que no requiere consumo de recursos energéticos.
- Su manejo es sencillo y seguro, gracias a su baja viscosidad a temperatura ambiente.
- Tiene un tiempo de almacenamiento amplio, debido a la igualdad de la densidad entre los componentes.
- La emulsión asfáltica al estar diluida en agua no es peligrosa de incendiarse y no produce vapores tóxicos afectando a los que lo manipulan.
- La obtención de bases de mayor resistencia permite un ahorro económico en las capas superiores ya que se requiere menores espesores en estas capas.
- Para suelos finos, como estos poseen cohesión el mecanismo de estabilización es la impermeabilización, impide el ingreso del agua previniendo cambios de humedad del suelo.
- En suelos granulares la emulsión asfáltica aporta dos características: impermeabilización y adhesión, mejorando su resistencia a compresión y además la permeabilidad.
- Tienen una mejor compatibilidad con los agregados ya que las emulsiones asfálticas catiónicas están cargadas electropositivamente y la mayoría de los agregados son de naturaleza silíceo con carga electronegativa, por lo que la interacción electroquímica es inmediata y permanente.
- Se reduce el espesor total de la estructura vial comparada con una con suelos no tratados.



Desventajas:

- No es recomendable aplicar esta alternativa en suelos con alto contenido de finos, lo ideal sería para suelos con porcentaje de finos menor al 20%, ya que cuanto más finos tenga mayor es la superficie específica del material y mayor consumo de emulsión asfáltica, lo que no sería rentable.
- El almacenamiento, no debe estar en lugares demasiado fríos o demasiado calientes a que estos se rompen y se vuelven inusables.
- No se puede mezclar entre emulsiones asfálticas catiónicas y aniónica. no son compatibles.

VII. Impacto ambiental del uso de emulsiones asfálticas

Los impactos más significativos que se pueden dar con el uso de la emulsión asfáltica en los suelos principalmente son causados por derrames o el arrastre por parte del agua antes que la emulsión se cure. El componente de la emulsión asfáltica que tiene una mayor probabilidad de causar un efecto negativo en el medioambiente es el agente emulsificante. Existe una gran cantidad de emulsificante en el proceso de fabricación de las emulsiones asfálticas, el cual varía su toxicidad. Sin embargo, el contenido de agente emulsificante está en el orden del 0.2%. Por estas razones las emulsiones asfálticas si llegan a derramarse en el medioambiente varían desde no causar ningún impacto hasta un ligero daño en el medioambiente acuático a donde sea arrastrada la emulsión (Ball, Herrington, & Patrick, 2008). Por otro lado, el uso de emulsiones asfálticas cuenta con varias ventajas medioambientales como la reducción del consumo energético en su aplicación, también se reducen los vapores emitidos al tratarse de un producto aplicado en frío, se permite el reciclado de pavimentos lo que ahorra en gran medida las emisiones e impactos que causan las construcciones convencionales, etc. (Serment Moreno, 2013). Entonces existen muchos factores beneficiosos que justifican el uso de la estabilización con emulsión asfáltica en la parte ambiental.

2.1.4. Análisis del desempeño de un pavimento

El análisis del comportamiento o desempeño de un pavimento se refiere a la capacidad del mismo de acuerdo a ciertos parámetros medibles a lo largo de su periodo de diseño. Existen muchas herramientas y modelos matemáticos que tratan de cuantificar los parámetros de desempeño de un pavimento. A continuación, se darán definiciones de conceptos importantes

usados para la evaluación del desempeño de un pavimento.

2.1.4.1. Intervalo remanente de servicio (RSI)

En el manejo de estructuras viales es de gran importancia conocer la vida remanente de los pavimentos, con esto se desea saber bajo qué condiciones llegará un pavimento en un cierto periodo de tiempo. Para las agencias que están a cargo de este tipo de estructuras estos análisis son de mucha importancia, ya que esto permite conseguir una mejor planificación y manejo de recursos como se aprecia en la Figura N° 4 (FHWA, 2013).

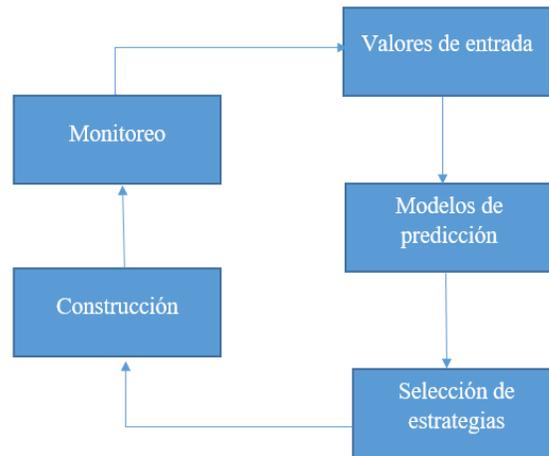


Figura N° 4. Esquema del manejo de un proyecto vial.

2.1.4.2. Niveles de servicio

La planificación en el ciclo de vida de una carretera debe estar sujeta al nivel de servicio de la misma, ya que se debe procurar que no baje de los límites establecidos en esta. Por lo tanto, el nivel de servicio de una carretera es de vital importancia para el análisis de mantenimientos, rehabilitaciones y periodos de diseño de una vía. El nivel de servicio límite que tiene una carretera viene dado por otros factores como el económico, la importancia de la vía dentro de la red vial y la rentabilidad de los recursos disponibles (MTC, 2013).

El nivel de servicio de una carretera está ligado a ciertos indicadores medibles pertenecientes a la misma; y con los cuales se brinda ciertos estándares de calidad en cuanto a factores como el estado superficial, el funcionamiento, el estado estructural y la seguridad de la carretera. Dentro de los factores e indicadores que afectan el nivel de servicio de una carretera se encuentran los siguientes:



a) Fallas superficiales del pavimento

Las fallas del pavimento son un gran indicador. Entre las fallas más consideradas al momento de realizar un análisis de comportamiento se encuentran, por ejemplo, las grietas superficiales, el índice de regularidad y el ahuellamiento de la superficie. Un indicador también usado es el índice PCI, el cual puede usarse para determinar instantes en los que es necesaria una rehabilitación o reconstrucción de la vía.

b) Situación estructural

La situación estructural puede ser determinada a través de las deflexiones existentes en el pavimento, este tipo de mediciones ayudan a localizar fallas en la estructura interna del pavimento antes que sean visibles en la superficie. Con la información de deflectometría del pavimento se pueden obtener los módulos de la subrasante, indicadores de la rigidez relativa de las capas superficiales y de base, características de rigidez de cada capa del pavimento, cómputo del número estructural del pavimento, etc.

c) Seguridad

En lo que se refiere a seguridad de la vía, entran todos los aspectos que pueden llegar a tener una influencia negativa en el control del vehículo que circula por la misma. Los parámetros más importantes que se asocian a la seguridad son la fricción, el hidroplaneo de los vehículos y la excesiva rugosidad del pavimento.

d) Tránsito

En ocasiones la capacidad de las carreteras enfrenta crecimientos en el tránsito para los cuales no se encuentran planeadas y es necesario aumentar la capacidad de las mismas. Aunque esto es un factor que se encuentra fuera del manejo en sí de la estructura del pavimento.

2.1.4.3. Valores límite

Estos valores son los límites a los que pueden llegar los valores expuestos en la sección anterior, y que indican la necesidad de intervenir la carretera con un tratamiento ya sea preventivo o correctivo. Los valores límite para determinar periodo remanente útil de un pavimento pueden ser determinados de varias maneras según la FHWA (2013). Estas formas de imponer valores máximos de cierto indicador pueden ser designados mediante consideraciones ingenieriles que se



basan en conceptos mecánicos o de interacción entre suelo y vehículo, mediante valores empíricos basados en la observación histórica de eventos, mediante un análisis económico analizando los costos a largo plazo; o en su defecto, se puede usar una combinación de dos o varios de los criterios mencionados (FHWA, 2013).

2.1.4.4. Curvas de desempeño

Las curvas de desempeño son gráficas basadas en modelos matemáticos obtenidos de forma mecánica o empírica, y que representan el comportamiento de un pavimento a lo largo del tiempo con respecto a un parámetro analizado. Estas curvas son usadas para predecir el comportamiento del pavimento y consecuentemente poder realizar la programación para futuros mantenimientos o rehabilitaciones (FHWA, 2013).

2.1.4.5. Ensayos de desempeño funcional

El desempeño funcional en una carretera se refiere a las características superficiales del pavimento, es decir, se evalúa la calidad de circulación que tienen los usuarios en dicha carretera. Dentro de las características funcionales de un pavimento se encuentran todas aquellas que afecten a la seguridad, comodidad y economía de los usuarios; además también sin dejar de lado los impactos ambientales. Entre las características funcionales de un pavimento se encuentran: la resistencia al rodamiento, la regularidad superficial, costos de usuario, etc. (Corros B., Urbáez P., & Corredor M., 2009).

I. Índice de serviciabilidad (PSI)

El índice de serviciabilidad o también llamado PSI es un valor importante en el diseño de pavimentos. Este valor categoriza una carretera mediante la condición existente necesaria para que el pavimento otorgue una circulación segura y confortable a sus usuarios (AASHTO, 1993). Esta clasificación se observa en la Tabla N° 7.

Tabla N° 7. Clasificación del pavimento según el índice de serviciabilidad (AASHTO, 1993).

Índice de serviciabilidad	Calificación
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy mala



Anteriormente este índice era calculado mediante un algoritmo de la AASHTO, el cual tenía como factores a considerar la variación de cotas en la rasante, las áreas fisuradas, el ahuellamiento y las áreas bacheadas (AASHTO, 1993). Sin embargo, últimamente el índice PSI es calculado en base al IRI de la carretera; o en su defecto mediante encuestas a conductores que transiten por ella.

II. Índice de condición del pavimento (PCI)

Cuando se trata de comprobar el estado en que se encuentra un pavimento, ya sea para mantenimiento o rehabilitación, uno de los métodos que se pueden usar para determinar este estado es el índice de condición del pavimento (PCI). Este método consiste en detectar fallas presentes en la superficie del pavimento y al mismo tiempo determinar su severidad y cantidad existentes en la zona de estudio (Vásquez Varela, 2002).

Este índice varía de 1 a 100, dando una clasificación del estado en el que se encuentra el pavimento, desde excelente hasta fallado, como se observa en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8. Clasificación del pavimento según el PCI (Vásquez Varela, 2002).

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Fallas del pavimento

Las posibles fallas que se pueden presentar en el pavimento; y que deben ser reportadas en el cálculo del PCI, según la ASTM D 6433-07, son las siguientes:

1. *Piel de cocodrilo*: Serie de grietas interconectadas causadas por una falla en el pavimento debido a la fatiga.
2. *Exudación*: capa fina de material bituminoso en la superficie que crea una reflexión y se vuelve pegajoso.
3. *Agrietamiento en bloque*: Grietas interconectadas que dividen al pavimento en bloques rectangulares.



4. *Abultamientos y hundimientos*: Desplazamientos cortos, localizados del pavimento en dirección hacia arriba o hacia abajo.
5. *Corrugación*: Serie de crestas y valles que ocurren a intervalos regulares menores a 3 m.
6. *Depresión*: Áreas del pavimento localizadas con elevaciones ligeramente menores al resto del pavimento circundante, mayores a 3 m.
7. *Grietas de borde*: Grietas paralelas y usualmente de 0.3 a 0.5 m de distancia del borde externo del pavimento.
8. *Grietas de reflexión de junta*: Esta falla ocurre solo en pavimentos asfálticos colocados sobre losas de cemento hidráulico.
9. *Desnivel carril / berma*: Es una diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma.
10. *Grietas longitudinales/trasversales*: Grietas longitudinales son las que se encuentran paralelas al eje central del pavimento y grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje central del pavimento.
11. *Parqueo*: Área de pavimento que ha sido remplazada por material nuevo, con la finalidad de repararlo.
12. *Pulimento de agregados*: Agregado superficial suave al tacto y sin angulosidad.
13. *Baches*: Depresiones en forma de cuenco en la superficie del pavimento con bordes afilados y lados verticales generalmente.
14. *Cruce de vía férrea*: Depresiones o golpes creados por el cruce de ferrocarriles.
15. *Ahuellamiento*: Depresión superficial en la trayectoria de las ruedas.
16. *Desplazamiento*: Desplazamiento longitudinal permanente de un área localizada del pavimento.
17. *Grieta parabólica*: Grietas en forma de medialuna, generalmente transversales a la vía.
18. *Hinchamiento*: Abultamiento hacia arriba de la superficie de forma larga y gradual, mayor a 3 m.
19. *Desprendimiento de agregados*: Desprendimiento de las partículas de agregado y aglutinante.

De igual manera cada una de las afecciones descritas anteriormente puede ser clasificada por su severidad. Estas pueden clasificarse en baja, media o alta, siendo las severidades para cada falla medidas de diferente forma y detalladas en la ASTM D 6433-07.



Número de muestras

El análisis de la sección o carretera mediante el método del PCI requiere que a la misma se la divida en unidades de muestreo, las mismas que deben ser del mismo tamaño. Estas unidades de muestreo deben ser determinadas en base a las dimensiones de la carretera (ancho de la calzada y longitud). Cuando se trata de pavimentos asfálticos, las unidades de muestreo se recomienda que cuenten con un área de $230 \pm 93 \text{ m}^2$ para que sus resultados sean representativos (Vásquez Varela, 2002).

Una vez determinado el número de muestras existentes, no es necesario calcular el PCI para todas, sino que, se debe realizar este cálculo solo en un cierto número de muestras con las que se logre un resultado representativo de la carretera (sección). Según la (ASTM D 6433, 2007), este número de muestras necesarias pueden ser obtenidos con la Ecuación N° 4.

$$n = Ns^2 / ((e^2/4)(N - 1) + s^2)$$

Ecuación N° 4

Donde:

n = Número de muestras necesarias

e = Error aceptable (normalmente tomado como 5 para un primer cálculo)

s = Desviación estándar (normalmente tomada como 10 para un primer cálculo)

N = Número total de muestras

En cuanto a la desviación estándar, esta se calcula con la Ecuación N° 5 Ecuación N°.

$$s = \left(\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_s)^2 / (n - 1) \right)^{1/2}$$

Ecuación N° 5

Donde:

PCI_i = PCI calculado de la unidad i

PCI_s = PCI calculado de toda la sección

n = Número de muestras calculadas

Debido a que la desviación estándar se encuentra en función del número de muestras y viceversa, es necesario volver a calcular el número de muestras necesarias luego de realizar la medición. Si el número de muestras obtenido con la desviación estándar calculada es mayor al número de muestras estudiadas, se deben evaluar más muestras hasta que este número sea igual o menor que



el obtenido con la desviación estándar calculada.

Finalmente, el intervalo de muestras que se deja entre muestras estudiadas se calcula con la Ecuación N° 6.

$$i = \frac{N}{n}$$

Ecuación N° 6

Donde:

i = Intervalo de muestras

Recolección de datos

Una vez identificadas el número de unidades de muestreo que se van a analizar se acude a campo, se marcan las unidades y se realiza las mediciones con los siguientes instrumentos:

- *Hojas de datos*: En las cuales se escribirán los datos tomados en campo.
- *Odómetro*: Dispositivo que mida la distancia con una precisión mínima de 30 cm.
- *Regla o flexómetro*: Dispositivos con un mínimo de precisión de 3 mm y una longitud mínima de 30 cm.
- *Regleta o aparato recto*: Cualquier aparato recto que mida más de 3m, con el fin de medir desniveles en el pavimento.

Los valores de afección se reportarán según la unidad competente, ya sea, metros cuadrados, metros u ocurrencias; y su severidad debe ser catalogada de acorde con lo indicado en la ASTM D 6433-07.

Cálculo del PCI

La metodología seguida para determinar el PCI de las dos carreteras de estudio fue realizada mediante la normativa ASTM D 6433-07. Según esta normativa se siguen los siguientes pasos:

1. Se calcula la densidad de cada afección y severidad dividiendo el valor ya sea de área, longitud u ocurrencias para el área total de la unidad de muestreo.
2. Tomando en cuenta el tipo de afección, severidad y densidad se observan las gráficas en el Anexo 1 y se obtiene el valor a deducir.
3. A veces no es necesario usar todos los valores reportados en la unidad de estudio, por lo que con la Ecuación N° 7 se pueden encontrar los valores necesarios para el cálculo del PCI.



$$m = 1 + (9/98)(100 - HDV) \leq 10$$

Ecuación N° 7

Donde:

m = Número de deducciones permitidas incluyendo fracciones.

HDV = Valor individual de deducción más alto

Si el número de deducciones permitidas es mayor o igual al número total de valores obtenidos se usan todos los valores para el cálculo del PCI; caso contrario se usa el número de valores indicados por m , ordenados de mayor a menor. Si m es un número decimal el último valor a tomar es solo la fracción decimal del número m .

4. Listar los valores de deducción obtenidos de mayor a menor. Obtener los valores de deducción totales considerando que cada valor mayor a 2 se sustituye por 2. Luego sumar todos los valores listados, obteniéndose el valor de deducción total, esto se realiza para cada iteración.
5. Asumiendo que “ q ” es el valor de todos los valores mayores a 2, entran los datos de “ q ” y valor de deducción totales en la Figura N° 5. De esta figura se obtiene el valor de deducción corregido (CDV).
6. Restar el valor de deducción corregido de 100 para obtener el PCI de la unidad de muestreo.
7. Una vez obtenidos todos los PCI de las unidades de muestreo, se procede a calcular el PCI de la sección o carretera con la Ecuación N° 8.

$$PCI_s = \overline{PCI_r} = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} * A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}}$$

Ecuación N° 8

Donde:

PCI_s = PCI de la sección

$\overline{PCI_r}$ = PCI ponderado en base al área de varias muestras

PCI_{ri} = PCI de la muestra i

A_{ri} = Área de una muestra i

n = Número de muestras reportadas

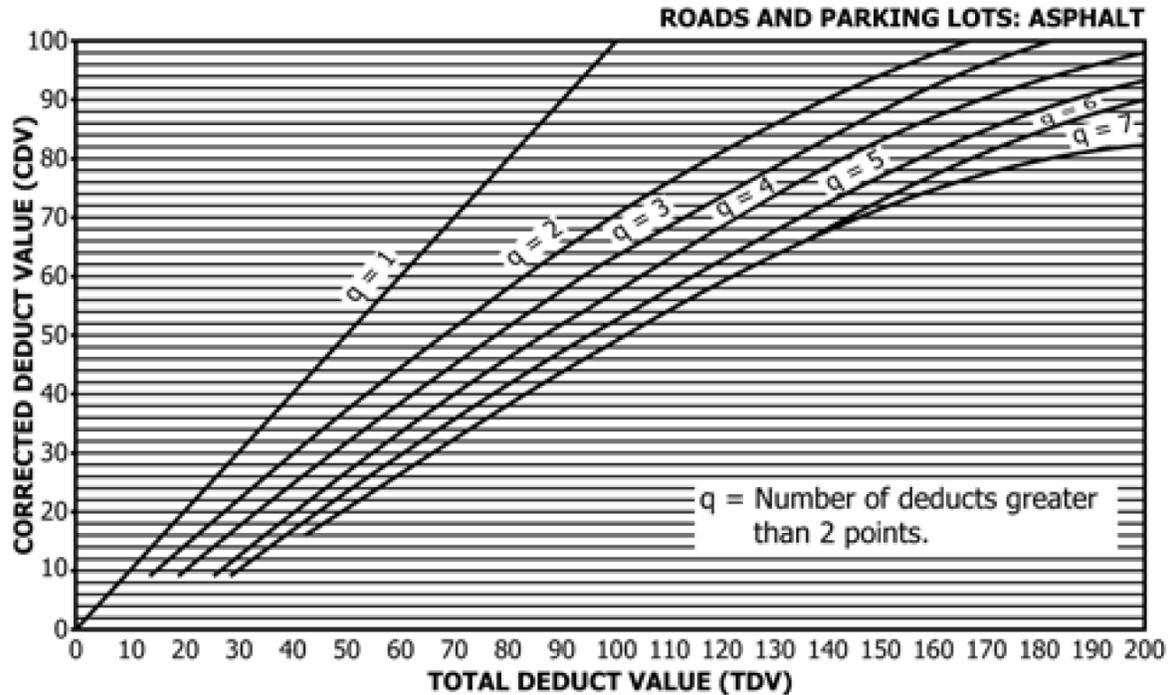


Figura N° 5. Valores de deducción corregidos (ASTM D 6433, 2007).

2.1.4.6. Ensayo de desempeño estructural

La evaluación estructural de un pavimento consiste en determinar la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante de una estructura vial existente. Este análisis se lo realiza en cualquier momento de su vida de servicio, cuando se requiere establecer y cuantificar la necesidad de rehabilitación, al final de la vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función. Es necesario realizar este tipo de análisis a la estructura de la vía para tener un conocimiento de cómo trabajan las distintas capas y el trabajo en conjunto de la estructura (Hoffman & Del Aguila, 1985).

Existen diferentes metodologías para determinar las condiciones de la estructural de un pavimento y se clasifican en destructivas y no destructivas.

I. Ensayos destructivos

Los ensayos destructivos son los que modifican o alteran el comportamiento y los materiales del pavimento, son más caros y lentos. Estos ensayos realizan perforaciones para tomar muestras y elaborar ensayos en laboratorio para analizar sus componentes por separado para luego ingresarlo en el sistema y determinar las características de la estructura vial (Instituto mexicano del transporte. Secretaria de comunicaciones y transportes, 1998).

II. Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos no alteran o modifican la estructura vial, se lo puede realizar en cualquier momento y repetir las veces que sean necesarias (Hoffman & Del Aguila, 1985). Para determinar la capacidad estructural se toma las medidas en o cerca de la superficie del pavimento y los resultados se relacionan con alguna propiedad de la estructura del pavimento (Instituto mexicano del transporte. Secretaria de comunicaciones y transportes, 1998). Existen varios tipos de ensayos no destructivos, los cuales involucran el uso de propagación de ondas, impacto de martillo, radar de sondeo terrestre y otros (Huang, 2004). El más destacado es el ensayo no destructivo de deflexión.

III. Ensayo no destructivo de deflexión

Este ensayo se ha utilizado por largo tiempo en la evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos, la deflexión es el valor que representa el desplazamiento vertical de la estructura del pavimento ante la aplicación de la carga externa (Higuera Sandoval, Características de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto, 2009). En la Figura N° 6 se puede apreciar la curva o cuenco de deflexión de un pavimento al aplicar una carga.

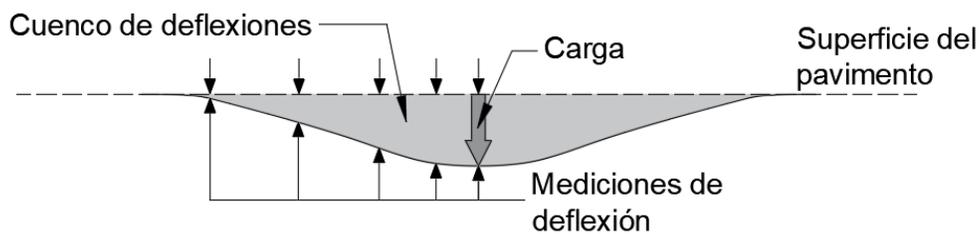


Figura N° 6. Curva de deflexiones (Carrasco & Vizhnay, 2019).

La deflexión permite realizar una correlación con la capacidad de la estructura del pavimento, según su forma y dimensión del cuenco de deflexiones. Si la deflexión es alta la capacidad estructural de la estructura del pavimento es baja, caso contrario si la deflexión es baja quiere decir que la estructura tiene una buena capacidad (Bejarano, 2013). En la Figura N° 7 se observa la evaluación de la subrasante y el pavimento según la extensión y la profundidad máxima del cuenco.

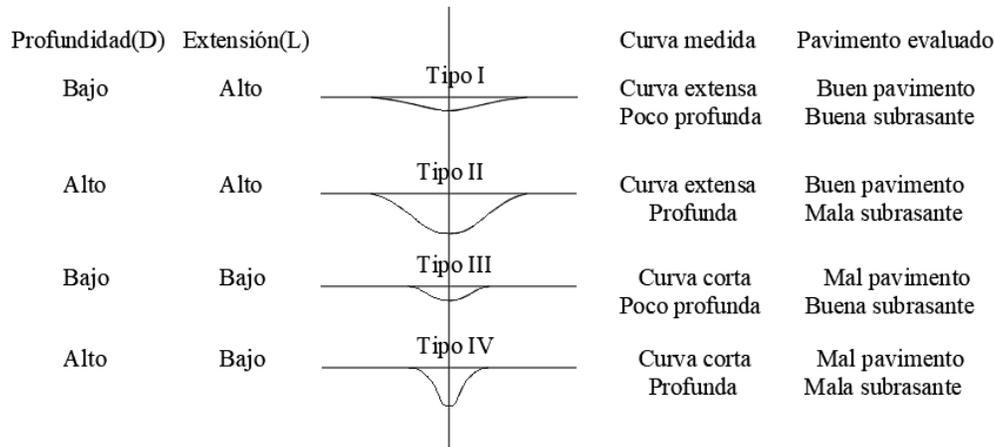


Figura N° 7. Tipos de curvas de deflexión según su extensión y profundidad (Hoffman & Del Aguila, 1985).

Para medir las deflexiones se pueden ocupar los siguientes equipos según la ASTM D4695-03: equipo dinámico de aplicación de carga, equipo de impulsión, equipo estático semicontinuo, equipo estático discontinuo.

IV. Viga Benkelman

Es un ensayo no destructivo de deflexión estático discontinuo, fue desarrollado por Alvin Carlton Benkelman 1953 como parte de los ensayos viales de la WASHO (Western Association of State Highway Officials Road Test) (Hoffman & Del Aguila, 1985). El ensayo consiste en determinar la deflexión recuperable de un pavimento producido por una carga estática. El instrumento utilizado es completamente mecánico que funciona como una palanca de diseño simple. La viga consta de dos partes: 1) Un cuerpo de sostén o cuerpo fijo que se ubica directamente sobre el terreno mediante 3 apoyos, dos en la parte delantera y uno en la parte trasera. 2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote, uno de los extremos apoyado sobre el terreno y el otro conectado sensiblemente con el vástago de extensómetro o dial del deformímetro que registra el movimiento vertical (Hoffman & Del Aguila, 1985). En la Figura N° 8 se puede apreciar el esquema básico de la viga Benkelman.

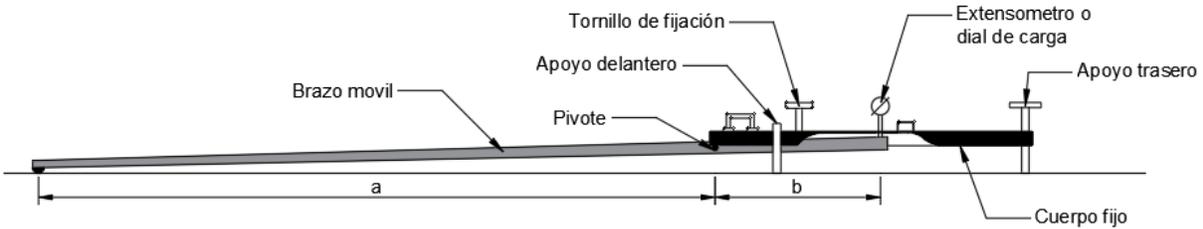


Figura N° 8. Esquema básico de la viga Benkelman (Hoffman & Del Aguila, 1985).

Equipo necesario

Los equipos necesarios para realizar las mediciones de deflexiones según Hoffman y Del Águila (1985):

- i) Deflectómetro viga Benkelman. El equipo consta de las partes antes mencionadas en el esquema de la Figura N° 8.
- ii) Camión cargado tipo 2DB, con eje trasero de 18000 libras (8.2 toneladas) distribuidas igualmente en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- iii) Vehículo auxiliar para transportar el personal y quipo misceláneo. Puede tratarse de una camioneta.
- iv) Accesorios de medición: Cinta métrica 50 m y cinta métrica metálica de 3 m, marcador o tiza, combo, varilla de metal, termómetro, aceite, destornillador, hojas de campo, lápices, accesorios de seguridad como: conos, chalecos refractivos, casco.

Procedimiento del ensayo

El procedimiento se basó del instituto nacional de vías la norma E-795 de Mediciones de la deflexión de un pavimento empelando dispositivos de carga estática no continua, viga Benkelman (I.N.V. E - 795, 2013).

a) Preparación del ensayo

Se verifica los requisitos necesarios sobre el camión para el ensayo. El peso del eje trasero del camión el cual se lo realiza sobre una báscula y debe tener 8.2 toneladas, se recomienda cargar con material metálico, concreto o piedra para evitar la variación de su peso por la humedad. Con un medidor de presión de neumáticos se verifica la presión el cual debe estar en el rango de 75-85 psi. Se arma la viga Benkelman, se coloca el dial y se comprueba el funcionamiento.



b) Proceso previo a las mediciones

Se mide la temperatura antes de empezar el ensayo simultáneamente con el trazado, se practica un orificio de 2 a 5 cm de profundidad y 1 cm de diámetro; aproximadamente sobre la línea paralela al eje del camino detrás del camión a una distancia de 50 cm se llena con glicerina o aceite, durante 10 minutos antes de empezar el ensayo. Se inserta el termómetro y se lee la temperatura, esta debe quedar dentro de los siguientes valores: mínimo de 5 °C y máximo 35 °C. También se debe registrar la temperatura ambiente. El proceso se debe realizar al inicio del ensayo y cuando la temperatura del aire varía en 2 °C, se recomienda realizar en cada punto donde se realiza el ensayo.

Los puntos de medición se localizan cerca del borde del pavimento a una distancia que depende del ancho del carril, se recomienda utilizar la distancia que se presenta en la Tabla N° 9, se marca con una línea transversal a la carretera.

Tabla N° 9. Localización del punto de ensayo (I.N.V. E - 795, 2013).

Ancho carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2.70 m	0.45 m
3.00 m	0.60 m
3.30 m	0.75 m
3.60 m o más	0.90 m

Se ubica la rueda dual externa del camión sobre el punto señalado anteriormente. Desde la línea marcada anteriormente en dirección al movimiento del camión se marca distancias preestablecidas para realizar las distintas medidas y obtener el cuenco de deflexiones.

c) Medición de la deflexión

Se coloca la viga Benkelman perpendicular al eje de carga de la siguiente manera: el extremo del brazo (parte móvil) debe colocarse entre los neumáticos de la rueda dual sin que exista roce como se presenta en la Figura N° 9 en el punto D.

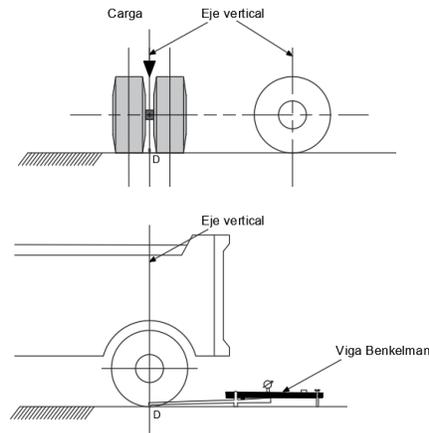


Figura N° 9. Configuración de la ubicación de la viga Benkelman debajo de la volqueta (Hoffman & Del Aguila, 1985).

Se verifica que el extremo del brazo tenga contacto con el pavimento, no roce con los neumáticos y se encuentre en el punto señalado para el ensayo, se ajusta el tornillo de fijación para que el brazo tenga contacto con el dial del deformímetro; posteriormente se encera el dial para empezar a tomar las medidas de deflexión.

Se toma los datos de la deflexión, se hace avanzar suave y lentamente la volqueta hasta las distancias marcadas anteriormente y se registra la lectura del dial golpeando suavemente con un lápiz para que el dial no se trabe o sea afectado por alguna interferencia externa. La distancia final se recomienda no menor a 5 metros.

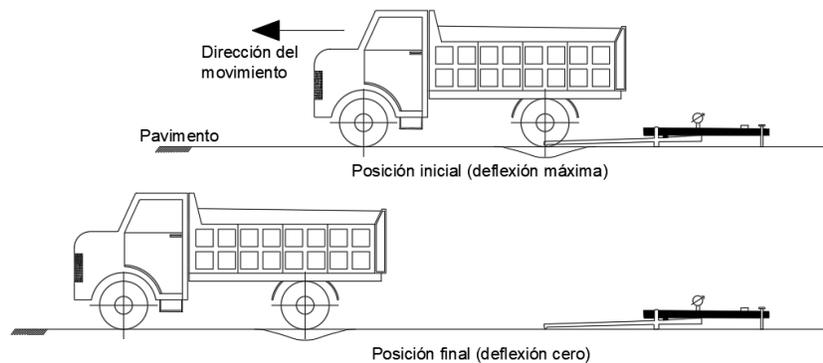


Figura N° 10. Esquema del proceso de medición (I.N.V. E - 795, 2013).

Se repite el proceso de medición a los intervalos según la frecuencia los cuales depende según el proyecto, se toman medidas bajo las dos ruedas usando dos dispositivos. Sin embargo, si se tiene solo un instrumento se puede alternar las pruebas por cada dos en la rueda exterior una en la rueda interior.



Frecuencia de medición

Según la Norma del I.N.V E-795-07 la ubicación de los ensayos varía según el propósito para el cual se obtienen los datos, estos son: nivel de red, nivel general de proyecto, nivel detallado de proyecto.

Ensayos a nivel de red: Este nivel demuestra una perspectiva general de la capacidad de la resistencia del pavimento, las pruebas se ejecutan en intervalos de entre 200 a 500 metros y un número mínimo de 7 ensayos por sección de pavimento uniforme. En un pavimento de concreto asfáltico a lo largo de la trayectoria del neumático externo, para pavimentos de concreto hidráulico debe realizarse primero en el centro geométrico de la losa y en las juntas.

Ensayos a nivel general de proyecto: Este nivel proporciona un análisis más detallado del pavimento para diseñar refuerzo o rehabilitación de las carreteras. Los ensayos deberán hacer a intervalos de 50 a 200 metros dependiendo de las condiciones del pavimento, debe tener un mínimo de 15 pruebas por cada sección de pavimento. De igual forma se ejecutará a lo largo de la trayectoria de las llantas externas en concretos asfálticos y en concretos hidráulico en el centro y en las juntas.

Ensayo a nivel detallado de proyecto: Este nivel proporciona un análisis altamente detallado y específico del pavimento para identificar las áreas de alta deflexión o detectar vacíos subsuperficiales en pavimentos de concreto. Las pruebas se realizan en intervalos de entre 10 y 50 metros y de igual forma se ejecutarán a lo largo de la trayectoria de las llantas externas en concretos asfálticos y en concretos hidráulico de igual forma en el centro y en las juntas. En la Tabla N° 10 se presenta resumen la frecuencia de mediciones según el nivel de detalle.

Tabla N° 10. Frecuencia de medición (I.N.V. E - 795, 2013).

Tipo de ensayo	Frecuencia	Número mínimo
A nivel de red	200 - 500	7
A nivel general de proyecto	50 – 200	15
A nivel detallado de proyecto	10 – 50	-

Cálculo de deflexiones

El proceso para determinar las deflexiones tanto del punto del ensayo como de la sección de estudio se sigue el siguiente proceso:

- a) La deflexión de la superficie del pavimento en cada punto de medida se obtiene con la Ecuación N° 9.



$$D_i = |L_f - L_o| \times \text{Constante de la viga}$$

Ecuación N° 9

Donde:

D_i =Deflexión de la superficie del pavimento

L_f =Lectura final del dial, mm

L_o =Lectura inicial del dial, mm

Constante de la viga = a/b (a=distancia desde pivote al punto de medida, b=distancia desde el pivote al deformímetro. Como en la Figura N° 8).

b) Corrección por temperatura de la deflexión

Se considera como deflexión patrón la que se produce a una temperatura de 20 °C, las deflexiones medidas a temperaturas diferentes a esta se deberán corregir multiplicando por un factor de corrección con la Ecuación N° 10. Esto se realiza cuando el espesor de la capa asfáltica es igual o mayor a 5 cm.

$$F_T = \frac{1}{1 + [8 \times 10^{-4} \times H_a \times (T - 20)]}$$

Ecuación N° 10

Donde:

F_T =Factor de corrección

H_a =Espesor de la capa asfáltica, cm.

T =Temperatura de la capa asfáltica en el instante del ensayo, °C.

c) Procesamiento de la información

Se define una deflexión promedio (D_m) y una deflexión característica (D_c) para pavimentos homogéneos. La deflexión característica representa la homogeneidad del pavimento y define el estado estructural del mismo. Los siguientes parámetros se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

Ecuación N° 11

$$D_c = D_m + Z_r \times \sigma$$

Ecuación N° 12

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i - D_m)^2}{n - 1}}$$

Ecuación N° 13



Donde:

D_m = Deflexion recuperable promedio en cada punto de ensayo, mm

D_c = Deflexion característica del pavimento homogéneo, mm

Z_r = Factor que depende del grado de confiabilidad deseado en la deflexión característica, se obtiene de la Tabla N° 11.

σ = Desviación estándar de los valores de deflexión medidos

Tabla N° 11. Valores de Z_r , para aplicar en la desviación estándar para diferentes niveles de confiabilidad (I.N.V. E - 795, 2013).

Confiabilidad	Z_r
50	0.000
75	0.674
85	1.037
90	1.282
95	1.645
97	1.881
98	2.054
99	2.327

2.2. Revisión de bibliografía

2.2.1. Revisión de normativas vigentes con respecto a la estabilización

2.2.1.1. Normativas en el Ecuador sobre el uso de emulsión asfáltica en vías terciarias

En el país existen normativas que regulan los procesos constructivos, operativos y la calidad de materiales empleados en la construcción de proyectos viales. Desde el año 2002 se cuenta con el reglamento MOP-001-F-2002, esta normativa es la que se encuentra en vigencia hasta el día de hoy. Sin embargo, existe otra normativa cuyo uso no ha sido aprobado oficialmente aún. Este documento es la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP que fue publicado en el año 2013.

I. Normativa MOP-001-F-2002

La norma MOP menciona la conformación de la estructura de pavimento en el capítulo 400, en esta sección se distinguen afirmados, subrasantes, subbases y bases. Los requerimientos para cada uno de estos se mencionan a continuación, así como los requisitos para las emulsiones asfálticas (MOP-001, 2002).



a) Superficies de rodadura

La sección 401-3 muestra información sobre suelos estabilizados con material bituminoso, los mismos que pueden ser usados como superficie de rodadura en caminos con volúmenes de tránsito bajos. El objetivo de este mejoramiento es el de aumentar la resistencia del suelo y disminuir su permeabilidad. Las características que debe presentar el suelo para considerarse apto para la estabilización son las descritas en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12. Características del suelo para la estabilización (MOP-001, 2002).

Características	Requisitos
% que pasa el tamiz N°4	Mayor a 50
% que pasa el tamiz N°200	Entre 10 y 50
Límite líquido (% máximo)	35
Índice de plasticidad (% máximo)	9

En cuanto al material ligante, es decir, el material asfáltico; este puede ser asfaltos diluidos o emulsiones asfálticas. Los ligantes asfálticos deben cumplir con lo estipulado en la sección 810 de la misma norma. Los grados y especificaciones de las emulsiones dependen de lo estipulado en los contratos.

El diseño de la mezcla debe tener los componentes: agua, suelo y material bituminoso. La dosificación de la mezcla siempre se la hará en relación del peso del material ligante al peso del material seco, el porcentaje de agua necesario y la densidad máxima de la mezcla. El porcentaje de emulsión debe determinarlo el contratista; algunos de los factores que pueden inferir en el diseño son la resistencia a la compresión, estabilidad y densidad en sitio de la mezcla.

b) Base de hormigón asfáltico

En la sección 404-4 describe a las bases de hormigón asfáltico como un producto de estabilización de bases que cumplan con ciertos requerimientos y la adición de material asfáltico que se mezcle con ella. Los agregados deben cumplir los siguientes requerimientos según su granulometría que se presenta en la Tabla N° 13.



Tabla N° 13. Granulometría para bases de hormigón asfáltico (MOP-001, 2002).

Tamiz	Porcentaje en peso que pasas a través de los tamices de malla cuadrada		
	A	B	C
2" (50.4 mm.)	100	--	--
1 1/2" (38.1 mm.)	70 - 100	100	--
1" (25.4 mm.)	55 - 85	70 - 100	100
3/4" (19.0 mm.)	50 - 80	60 - 90	70 - 100
3/8" (9.5 mm.)	40 - 70	45 - 75	50 - 80
N° 4 (4.75 mm.)	30 - 60	30 - 60	35 - 65
N° 10 (2.00 mm.)	20 - 50	20 - 50	25 - 50
N° 40 (0.425 mm.)	5 - 30	5 - 30	10 - 30
N° 200 (0.075 mm.)	0 - 5	0 - 5	0 - 5

La mezcla debe ser diseñada mediante el método Marshall y debe cumplir con los requisitos presentados en la Tabla N° 14 a 25 °C.

Tabla N° 14. Requisitos que debe cumplir la mezcla (MOP-001, 2002).

Estabilidad Marshall	Flujo
750 lbs. min	0.05 - 0.18 pulg

c) Construcción de bases: "Suelo-cemento"

En la norma ecuatoriana no existe una sección dedicada a la construcción de material de base a partir de la combinación de suelo y ligante asfáltico. Sin embargo, existe la construcción de bases a partir de la mezcla entre suelo y cemento en la sección 404-6. En la Tabla N° 15 se presenta la granulometría del suelo para la estabilización suelo-cemento.

Tabla N° 15. Porcentaje que pasa a través de los tamices (MOP-001, 2002).

Tamiz	Porcentaje que pasa a través de los tamices	
	Para mezcla en sitio	Para mezcla en planta
3/4"(19.0 mm.)	100	100
N°4 (4.75 mm.)	-	40-75
N°10 (2.00 mm.)	30-70	30-50
N°40(0.425 mm.)	-	15-35
N°200 (0.075 mm.)	5-25	5-15

Como se puede observar en la Tabla N° 15 los requerimientos del suelo a ser usado para bases no son muy exigentes en cuanto a granulometría. En lo que se refiere a límites de Atterberg y contracción del suelo, se deberá comprobar con las especificaciones de la AASHTO M145. Una vez obtenida la mezcla esta debe tener una resistencia de mínimo 18 kg/cm² en el ensayo de compresión en cilindros.



d) Reclamación de material en reparación y mantenimiento

En la sección 406-2 del MOP 2002 se detalla una alternativa para el mantenimiento de carreteras, la cual consiste en la recuperación y reutilización de los agregados que anteriormente estuvieron conformando un pavimento. Es interesante esta sección, ya que se indica que los materiales que se pueden recuperar son: “capas asfálticas de rodadura, y capas de bases asfálticas o capas de bases granulares, material granular o alguna combinación entre ellos” (MOP-001, 2002).

Las características de los materiales recuperados, como por ejemplo su granulometría o límites de Atterberg no son proporcionados. Sin embargo, se indica que la recuperación se debe realizar con la maquinaria indicada (máquina recuperadora de caminos) que permita obtener agregados de tamaños parecidos a los de una base. Además, se indica que los ensayos para comprobar la calidad de los agregados y de la emulsión son los mismos que para bases de hormigón asfáltico. Para el diseño de la mezcla se debe usar el método Marshall.

Características de la emulsión asfáltica

Las emulsiones asfálticas más utilizadas son las catiónicas y deben cumplir con los requisitos encontrados en la norma AASHTO M 140 y AASHTO M 120, los mismos que se resumen en la Tabla N° 4 en la sección 2.1.3.5 . Adicionalmente también se indica que la temperatura de las emulsiones debe encontrarse entre 85 y 4.5 °C durante almacenamiento, transporte o aplicación.

II. Normativa NEVI

Con el objetivo de recopilar más información sobre cómo se norma la estabilización de suelos enfocada en la construcción de carreteras en el país se tomó como uno de los documentos a investigar la normativa NEVI 12. En lo que respecta a esta normativa no se lograron obtener muchos datos, debido a que esta normativa incluye en su contenido solamente a un tipo de estabilización con emulsión asfáltica; siendo esta la estabilización de bases para conformar capas de base de hormigón asfáltico, lo que no resulta de mucha ayuda en los casos de estudio (MTO, 2013).



2.2.1.2. Normativas vigentes de otros países sobre el uso de emulsión asfáltica en vías terciarias

I. Normativa colombiana

Con respecto a normativas la institución colombiana a cargo de estos asuntos es el Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2013), por lo que se tomarán como referencia para esta recopilación únicamente los reglamentos emitidos por esta institución.

a) Carreteras terciarias

En el caso de la clasificación de vías en Colombia se tiene como carreteras rurales y de bajo tránsito a las que su valor de ejes acumulados en su periodo de diseño tiene un total de ejes equivalentes de 8.2 toneladas acumulado, menor a 500 000 (Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, 2007).

Dentro de este grupo de carreteras de bajo tránsito se puede dividir en dos más, los cuales son:

- Vías con menos de 150 000 ejes equivalentes acumulados.
- Vías de entre 150 000 a 500 000 ejes equivalentes acumulados.

b) Estabilización en carreteras con niveles bajos de tránsito (terciarias)

El instituto nacional de vías en Colombia cuenta con un manual emitido en el año 2007 en el cual se detalla el proceso de diseño de una carretera con niveles bajos de tránsito (Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, 2007). En este manual se pueden observar las diferentes alternativas de capas con las que este tipo de carreteras pueden estar conformadas. Entre las alternativas que se ofrece, las que están constituidas por capas de emulsión asfáltica son las siguientes:

- Mezcla en frío Tipo 2 + Suelo estabilizado con emulsión + Subbase granular
- Mezcla en frío Tipo 2 + Suelo estabilizado con emulsión + Afirmado

En dónde la Mezcla en frío Tipo 2 se define como una capa de rodadura conformada por emulsión asfáltica y agregados (INVIAS, 2013). El afirmado según la norma colombiana es la capa usada en carreteras de bajo tránsito y que protege al suelo encontrado bajo ésta (capa de grava-arcilla o de agregados seleccionados). Finalmente, las características del suelo para estabilizar con emulsión deben cumplir con las características descritas en el artículo 340.2.1.2 de la normativa (INVIAS, 2013) que se presentan en la Tabla N° 16.



Tabla N° 16. Características del suelo para estabilizar (INVIAS, 2013).

Característica	Requisito
Clasificación según la AASHTO	A-1-b o A-2-4
Índice de plasticidad (%)	7
Equivalente de arena (%)	20-40
Terrones de arcilla (%)	2
CBR del material (%)	15
Material pasante el tamiz N° 4 (%)	100
Material pasante el tamiz N° 200 (%)	5-25

II. Normativa mexicana

En México, la normativa vigente para carreteras es la Normativa para la Infraestructura del Transporte; también conocida como NIT-SCT, elaborada por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte.

Para la estabilización de capas, ya sea de subrasante, capas de terminado, bases o subbases se toma como referencia el documento N·CSV·CAR·4·02·005/14.

Los equipos a usarse en el caso de la estabilización son bien sea una planta mezcladora, máquinas estabilizadoras autopropulsadas, o en último caso motoconformadoras. Para las obras complementarias de la estabilización se necesitan extendedoras y compactadores.

En lo que respecta a la estabilización y las propiedades del producto mineral a estabilizar; esta norma los separa en tres diferentes: materiales de revestimiento, materiales para construcción de bases y materiales para bases negras estabilizadas (N·CSV·CAR·4·02·005, 2014).

a) Materiales para revestimientos

La norma (N-CMT-4-01, 2002) habla de capas de materiales que pueden ser utilizados para la distribución adecuada de cargas en el suelo que recibirá las cargas de tránsito. En cuanto al tráfico promedio o número de ejes equivalentes que deberían tener las vías intervenidas con este tipo de tratamientos no existe información alguna. Sin embargo, se intuye a que se refiere a los caminos terciarios o vecinales.

Las características con las que deben contar los materiales usados como revestimientos se presentan en la Tabla N° 17.



Tabla N° 17. Características de los materiales de revestimiento para estabilizar (N-CMT-4-01, 2002).

Características	Valor (%)
Límite líquido (máximo)	30
Índice de plasticidad (máximo)	15
Equivalente de arena (mínimo)	30
CBR (mínimo)	50
Grado de compactación (mínimo)	95

Por otro lado, la norma también reconoce que una capa de revestimiento pueda ser modificada químicamente con materiales bituminosos; no obstante, la misma no brinda una guía o manual en lo referente al uso de estos.

b) Materiales a estabilizar para construcción de bases

Los materiales estabilizados deberán cumplir con lo determinado en la norma N-CMT-4-02-003/19. Estos deben tener un desprendimiento por fricción máximo del 25 %, y se debe comprobar que exista en el suelo un cubrimiento con asfalto mayor al 90 %. Una vez realizada la estabilización se debe garantizar una estabilidad mayor a 0.64 kN en suelos no plásticos (arenosos); mientras tanto cuando se tienen suelos plásticos (arcillosos) es necesario cumplir con los requisitos expuestos en la Tabla N° 18.

Tabla N° 18. Requisitos de la base a estabilizar (N-CMT-4-02-003, 2019).

Característica	Valor
Estabilidad (lb) (mínimo)	396
Expansión (%) (máximo)	2
Absorción (%) (máximo)	5
Material pasante el tamiz N° 4 (%)	30-67
Material pasante el tamiz N° 200 (%)	0-10

c) Materiales para construcción de bases negras

Si los porcentajes de emulsión a añadir al compuesto mineral van del 4 al 5 % en masa, este material es considerada como base de mezcla asfáltica (base negra), según la norma mexicana, y debe cumplir ciertos requisitos que difieren de los mostrados en el anterior punto, e igualmente se encuentran en el mismo documento que el literal anterior. Estos requerimientos pueden ser encontrados en la Tabla N° 19.



Tabla N° 19. Requerimientos del suelo para bases negras (N·CMT·4·02·003, 2019).

Característica	ESAL $\leq 10^6$
Límite líquido (%) (máximo)	30
Índice de plasticidad (%) (máximo)	6
Contenido de agua (%) (máximo)	1
Equivalente de arena (%) (mínimo)	40
Partículas alargadas y lajeadas (%) (máximo)	50
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (%) (máximo)	30
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua (%) (máximo)	25
Material pasante el tamiz N° 4 (%)	34-100
Material pasante el tamiz N° 200 (%)	10-15

Los valores necesarios para las bases negras se encuentran en la Tabla N° 20.

Tabla N° 20. Características para la mezcla estabilizada (N·CMT·4·02·003, 2019).

Característica	Valor
Estabilidad (lb) (mínimo)	990
Flujo (pulg)	0.08-0.18
Vacíos en la mezcla (%)	3-8

III. Norma peruana

En Perú la estabilización de suelos con emulsión asfáltica se encuentra especificado en el Manual de carreteras “Suelos, geología, geotécnica y pavimentos” sección: suelos y pavimentos. Versión abril 2014. Pág. 103 (MTC/14, 2014).

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico tiene como finalidad: a) Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo. b) Impermeabilización del suelo, haciendo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.

La dosificación necesaria de ligante está en función principalmente de la granulometría del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos de reducida plasticidad, que presenten las características de la Tabla N° 21.

Tabla N° 21. Características de suelo para estabilizar (MTC/14, 2014).

Característica	Valor
Pasa tamiz N° 200 (0.075 mm) (%)	< 20
Límite líquido (%)	< 30
Índice de plasticidad (%)	< 10



El material asfáltico usualmente empleado son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media cuya mezcla se realiza in-situ. Aparte de la granulometría la selección del ligante depende también del contenido de humedad y de las condiciones climáticas.

En el caso de estabilización con emulsión asfáltica estas pueden ser catiónicas, aniónicas y no iónicas. El diámetro de las partículas de asfalto dispersas es entre 3 y 9 micras. Este tipo de aglutinante se puede usar en cualquier tipo de suelo, pero se recomienda para suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad. En arcillas se puede utilizar, pero solo le brinda impermeabilidad, con otros productos se logra mayor eficiencia y son más económicos. Los suelos para estabilizarse se pueden traer de minas cercanas o se puede utilizar el suelo propio de las carreteras afirmadas.

Para el proceso constructivo la capa a mejorar debe estar completamente terminada para posterior realizar la escarificación y mezcla de la misma. No se debe hacer la estabilización cuando hay mucho viento, temperatura menor a 5 °C o lluvia.

La dosificación depende de la granulometría del suelo, para suelos finos requieren mayor cantidad de asfalto, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse con costos razonables debido a la cantidad de bitumen que necesita. En general, la cantidad de emulsión asfáltica utilizado varía entre un 4 % a 7 % para la estabilización, y con respecto al total de agua de compactación más el asfalto no debe exceder en la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada.

Según el Manual de carreteras: Diseño Geométrico DG-2014, del ministerio de transporte y comunicación del Perú. Revisado y corregido a octubre de 2014. Las carreteras terciarias o de tercera clase, son las que tienen un IMDA (Índice medio diario anual) menores a 400 veh/día con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo.

IV. Norma venezolana

En Venezuela la norma vigente emitida por Comisión Venezolana de Normas Industriales en el 2000 actualizada de la versión de 1987. Sector construcción. Especificaciones. Codificación y mediciones parte 1. Carreteras. (COVENIN, 2000)

Esta norma se establece los requisitos para la construcción de una o más capas de subbase y/o de bases compuestas de suelos con materiales bituminosos. Para la estabilización de suelos los materiales deben provenir de canteras aprobadas por el ministerio o suelos que se encuentran en



la superficie de las carreteras que se van a estabilizar/construir aprobados previamente. Estos suelos deben tener las siguientes características que se describe en la Tabla N° 22:

Tabla N° 22. Características del suelo a estabilizar (COVENIN, 2000).

Característica	Valor
Materia orgánica (%)	< 5
Límite líquido (%)	< 40
Índice de plasticidad (%)	< 18

La granulometría del suelo que se va a estabilizar suelo-asfalto debe estar en el rango mostrado en la Tabla N° 23.

Tabla N° 23. Granulometría estándar para la estabilización de suelos con emulsión asfáltica (COVENIN, 2000).

Tamiz	% en peso de material que pasa el tamiz
3" (76,2 mm)	100
N° 4 (2.00 mm)	50 - 100
N° 40 (0.425)	35 - 100
N° 200 (0.075mm)	10 - 50

El material asfáltico que se puede utilizar en la estabilización de subbases, bases o suelos propios de las carreteras son de tipo: asfalto líquido de rotura rápida (RC-250, RC-800), asfalto líquido de rotura media (MC-250, MC-800), asfalto líquido de rotura lenta (SC-250, SC-800), emulsión asfáltica aniónica de rotura lenta (SS-1), emulsiones asfálticas catiónica de rotura lenta (CSS-1 y CSS-1h).

La mezcla suelo-asfalto debe satisfacer los requisitos de la Tabla N° 24:

Tabla N° 24. Requisitos de la mezcla suelo-emulsión (COVENIN, 2000).

Característica	Valor
Estabilidad Hubbard Field al aire (lb)	>1000
Estabilidad Hubbard Field al agua (lb)	>1000
Hinchamiento volumétrico (%)	< 5
Absorción volumétrica (%)	< 8

2.2.2. Carreteras Estabilizadas con emulsión asfáltica en la provincia del Azuay

Dentro de la provincia, el gobierno autónomo descentralizado de la provincia del Azuay, ha venido empleando este tratamiento en las vías rurales de bajo tráfico, en las parroquias rurales del cantón Cuenca como Checa, Sayausí, Ricaurte, Llaqueo. También en los cantones de



Gualaceo, Paute, Sígsig. La estabilización de las carreteras con el uso de emulsión asfáltica se ha venido dando desde el año 2019 a raíz de la adquisición de la máquina estabilizadora.

La información adquirida sobre la situación vial de la provincia con respecto al uso de la emulsión asfáltica fue entregada por parte de los encargados correspondientes del área de Vialidad de la Prefectura del Azuay a manera de informes de los cuales se pudo extraer la información de interés. Un resumen de la información extraída se describe con mayor detalle en la Tabla N° 25.

Tabla N° 25 Vías estabilizadas con emulsión asfáltica en el Azuay. Informes facilitados por la Prefectura del Azuay (García Valencia, 2020).

Cantón	Parroquia	Carretera	Distancia (km)	Ancho de vía (m)	Profundidad de excavación (m)	Porcentaje emulsión asfáltica (%)	Año de construcción	Tipo de suelos estabilizado
Cuenca	Checa	Cristo Rey - Virgen de la Nube - Corpanche	1.15	4.8	0.10	2.5	01/2019	A-2-6 (mina Llatcón)
Cuenca	Sayausí	Buenos Aires - Picotacucho	1.5	4.8	0.10	2.5	02/2019	Mina Tunsha
		Ramales de Buena Esperanza y Cruz Blanca	1.2	4.8	0.10	2.5	02/2019	Mina Tunsha
Cuenca	Llacao	Buena Esperanza - Virgen del El Cisne	1.5	5.5	0.10	3.5	02/2019	A-2-6 (mina Llatcón)
Cuenca	Ricaurte	Ricaurte - Molinopamba	3	5	0.10	3.5	03/2019	A-2-6
Cuenca	El Valle	El Valle - San Miguel	1.2	7	0.10	3.5	03/2019	A-2-6 (mina Llatcón)
Paute	El cabo	El Cabo	0.75	4.8	0.10	3.5	04/2019	-
Gualaceo	Gualaceo	Gualaceo - San Juan - Guaiña	6.25	7.2	0.15	4.5	02/2020	-
Sígsig	San Bartolo	San Bartolo - Ruta de las Guitarras	0.55	5.2	0.15	4.5	03/2020	-



De acuerdo con los informes se construyeron más de veinte kilómetros de vías en el año 2019 según se detalla en la Tabla N° 25. El proceso constructivo se llevó a cabo mediante una escarificación superficial de vías existentes construidas originalmente con materiales de minas ya sea con material de lastre proveniente de las minas Llatcón o Tunsha; en su defecto material granular de base. Luego de la escarificación se generó una mezcla con emulsión asfáltica según explican, para la cual en la mayoría de los casos se utilizó 2.5 % de emulsión con respecto al peso del suelo. Estos valores fueron adoptados por administraciones pasadas. Sin embargo, cada vez se ha ido aumentando el porcentaje de emulsión hasta llegar al 4.5 %.

2.2.3. Carreteras Estabilizadas con emulsión asfáltica en la región

2.2.3.1. Carretera Pindal-Milagros-Paletillas

Uno de los ejemplos de la aplicación de emulsión asfáltica en carreteras se lo puede encontrar en el país, concretamente en la provincia de Loja. La carretera es la Pindal-Milagros-Paletillas. La información de esta carretera fue obtenida del trabajo de titulación elaborado por Sarmiento L., (2018).

a) Datos generales de la carretera

La carretera en cuestión se encarga de unir los cantones Pindal y Zapotillo. Esta vía se extiende desde la cabecera cantonal de Pindal, llegando a la cabecera parroquial de Paletillas, por lo que cuenta con una longitud de 29.68 km. El ancho predominante que se encuentra varía entre los 6 y 7 m. La carretera está clasificada como una carretera rural de bajo tránsito clase IV.

En el terreno por los que circula la carretera se pueden encontrar pendientes longitudinales de entre el 10 y 15.2 % en tramos cortos. Al momento de la construcción de la vía estabilizada no se contaban con cunetas ni ningún otro sistema de subdrenaje en la vía. Tampoco se encontraron muros de contención en el sitio. La capa de rodadura previo a proceso de estabilización estaba conformada por un suelo de grava-arcilla con un CBR de 9.4 % y módulo resiliente de 14100 psi.

b) Datos de diseño

Con respecto a los datos de tránsito se tiene que el tráfico promedio de diseño es de 229 veh/día; mientras tanto la cantidad de ejes equivalentes (ESAL W18) ocupados para el diseño es de 321500.



La base granular que se utilizó para la estabilización con emulsión asfáltica cumple con la granulometría tipo B según el Ministerio de transporte y obras públicas (MOP-001, 2002) y con las siguientes características que se presentan en la Tabla N° 26.

Tabla N° 26. Características físicas - mecánicas del material para base estabilizada (Sarmiento Álvarez, 2018).

Ensayo	Resultado (%)
Desgaste a la Abrasión	19.70
C.B.R.	86.60
Límite Líquido	20.40
Índice de Plasticidad	3.00
Desgaste a los sulfatos	6.28

La estructura del pavimento diseñado cuenta con los siguientes espesores presentados en la Tabla N° 27.

Tabla N° 27. Espesores del pavimento de la vía Pindal-Milagros-Paletillas (Sarmiento Álvarez, 2018).

Capa	Espesor (cm)
Micropavimento	1.5
Base estabilizada con emulsión clase 1	15
Subbase granular tipo 3	15
Total	31.5

La capa de micropavimento está constituida por agregados triturados con granulometría bien definida, emulsión asfáltica modificada con polímeros, cemento portland, aditivos y agua.

Se realizaron ensayos del material base para verificar la compatibilidad con la emulsión asfáltica como es el ensayo de equivalente de arena, porcentaje de partículas alargadas y achatadas. Verificado el material se realiza la mezcla para posterior realizar ensayos de compatibilidad y peladura, el cual presentó un porcentaje visible de cubrimiento del área del agregado por la emulsión del 95 %.

El diseño de la mezcla base-emulsión fue realizado mediante el método Marshall con el objetivo de lograr una estabilidad mínima de 750 lb y un flujo de entre 5 y 18 centésimas de pulgada. Mediante análisis de ensayos de laboratorio se logró determinar que el porcentaje de emulsión a añadir fue de 4.5 % con el que se logró una estabilidad de 2677 lb y un flujo de 8.33 centésimas de pulgada.



c) Proceso constructivo

El proceso fue realizado acatando las especificaciones técnicas del MTOP, primero se escarificó el terreno natural para luego nivelarlo y compactarlo. La capa subbase fue colocada sobre la subrasante escarificada; se cuidó que el material tenga el contenido de humedad óptima y se procedió a compactarla.

Al colocar la capa base se siguió el mismo procedimiento que el de la subbase. Una vez obtenido los espesores deseados se usó una máquina recicladora la cual fue inyectando la cantidad adecuada de emulsión asfáltica. Una vez obtenida la mezcla se niveló y se compactó hasta obtener los espesores y bombeo deseados. Por último, se colocó la capa de micropavimento.

d) Conclusiones de la experiencia al utilizar emulsiones asfálticas como estabilizador por parte del autor (Sarmiento L.)

Mediante el uso de esta tecnología se permitió disminuir los plazos de ejecución especialmente gracias al uso de equipo tecnificados.

Se identificaron varios impactos positivos desde el punto de vista económico (reducción de costo anual equivalente), social (ampliación de cobertura) y ambiental (ahorro de recursos).

El costo de la estabilización resultó ser 49 % del costo de una base granular de una carpeta de 5 cm de espesor que cumpla la misma función. Otro de los puntos tratados se enfoca en la mejor calidad de la obra y menores tiempos de construcción siempre y cuando el proceso de estabilización se lo realice con maquinaria especializada para los trabajos in situ. Se debe resaltar que en este estudio se utilizó base granular como el material a estabilizar

2.2.3.2. Carretera Puno-Tacna, tramo Tarata-Capazo-Mazocruz

Entre los casos de estabilización con emulsión asfáltica encontrados en la región se escogió el ejemplo de la carretera Puno-Tacna, tramo Tarata-Capazo-Mazocruz ubicada al sur de Perú; esto debido a que se cuenta con datos de desempeño de la carretera. La información de esta carretera fue obtenida del trabajo de titulación elaborado por De la Torre M., (2018).

a) Datos generales

La zona se encuentra ubicada a 4900 msnm con una temperatura promedio entre 15 °C hasta 20 °C. Para la investigación se subdividió en ocho tramos, para la investigación se tomó los tramos 7 (Tarata Km 91+182 hasta Capazo Km 172+665) y 8 (Capazo Km 172+665 hasta Mazocruz Km 227+049). De igual forma cada tramo se dividió en 5 sectores. El ancho de la vía va desde los 4.67 m hasta los 5.95 m.



b) Datos de diseño

El tráfico promedio diario anual en esta vía va de entre 131 a 306 vehículos por día y el número de ejes equivalente obtenido es de 361000.

La capacidad de la subrasante al ser una vía extensa fluctuó a lo largo de la vía, con valores de menos de 6 % según muestras ensayadas en laboratorio, por lo que dicha subrasante se mejoró con material granular con un valor de C.B.R de entre el 20 y 30 %.

Se usaron materiales de 4 diferentes canteras para la capa base; los valores de la capacidad CBR de las mismas fueron: para el tramo 7 en el sector 1 y 2 de 51.4 %, el tramo 7 sector 3, 4 y 5 de 86.5 %, el tramo 8 sector 1, 2 y 3 de 68.2 % y para el tramo 8 sector 4 y 5 de 83.1 %.

El diseño de la estabilización se realizó mediante el método Marshall modificado, dando como resultado el 2 % de emulsión asfáltica a utilizar.

La estructura del pavimento consta de las siguientes capas que se presentan en la Tabla N° 28.

Tabla N° 28. Espesores de las capas de la carretera Puno-Tacna (De la Torre Illescas, 2018).

Tramo	Sector	Espesor de subbase (cm)	Espesor base suelo-emulsión (cm)	SN _{prop}	SN _{req}
Tramo 7 Tarata – Capazo	1	10	13	1.63	1.6
	2	10	11	1.44	1.37
	3	10	11	1.53	1.44
	4	10	11	1.53	1.52
	5	10	10	1.43	1.39
Tramo 8 Capazo – Mazocruz	1	10	13	1.63	1.6
	2	10	16	1.9	1.86
	3	10	13	1.63	1.6
	4	10	15	1.9	1.89
	5	10	12	1.62	1.54

c) Proceso constructivo

El proceso de estabilización se realizó mediante dos métodos: el primero con la ayuda de una planta mezcladora KMA 220 ubicada en una de las canteras. La cual realiza el proceso de mezclado con la emulsión asfáltica para luego ser transportados y esparcidos con la ayuda de una esparcidora de suelos.

El segundo proceso se lo realizó in-situ con la ayuda de una recicladora móvil WR200 la cual mezcla el material previamente tendido en la vía con la emulsión asfáltica, luego se perfiló con la motoniveladora y por último se compactó.

d) Desempeño de la carretera

La evaluación se dividió en tres criterios que se verificaron durante todo el periodo de construcción de la obra, estos tres criterios de evaluación fueron: el de factibilidad, el funcional y el estructural.

El grado de compactación de la base estabilizada fue diseñado para un 98 % y lo que se evidenció en el campo es un grado de compactación del 99 %.

La deflectometría fue analizada con el deflectómetro conocido como “Viga Benkelman” en ambos lados de la calzada y de manera alternada cada 10 metros. Estas mediciones fueron realizadas conforme avanzaba la ejecución de la obra. Aquellas zonas que superaron el valor admisible máximo de 0.95 milímetros fueron reconformadas.

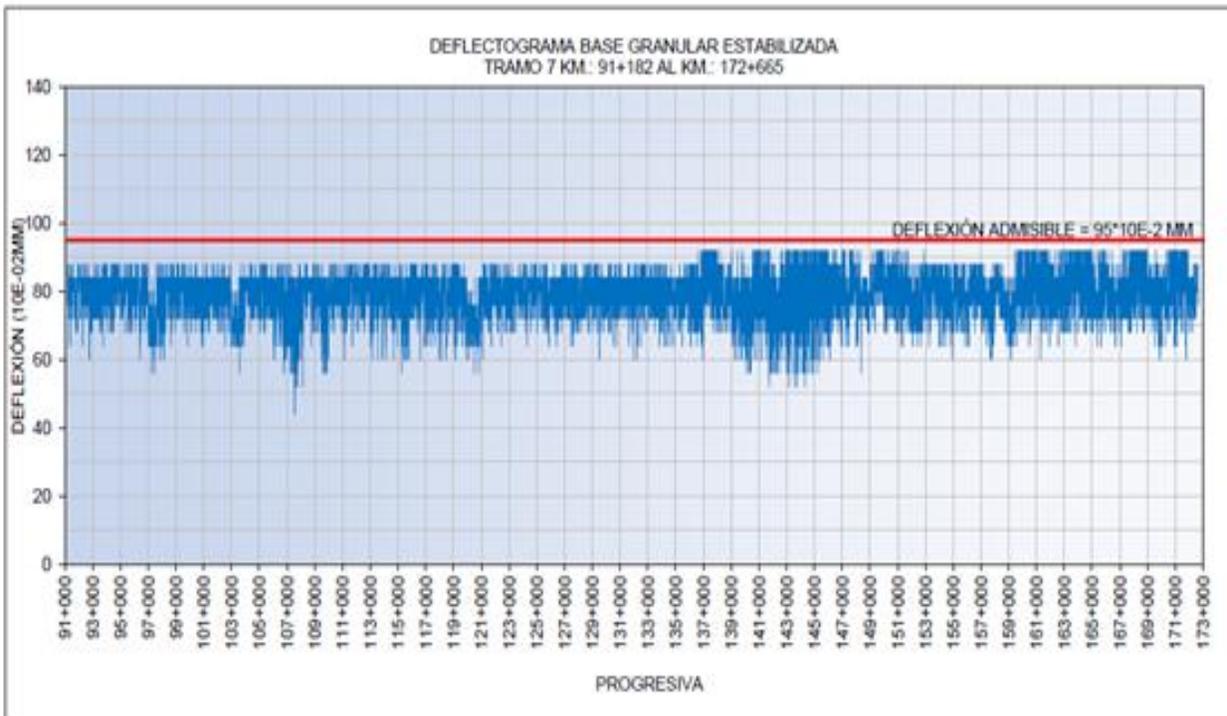


Figura N° 11. Deflectograma de la vía Puno-Tacna (De la Torre Illescas, 2018).

La serviciabilidad de la vía fue determinada mediante el índice de regularidad internacional (IRI), este ensayo fue realizado con el dispositivo Roughometer III, tomando en cuenta un IRI admisible de 3 m/km.

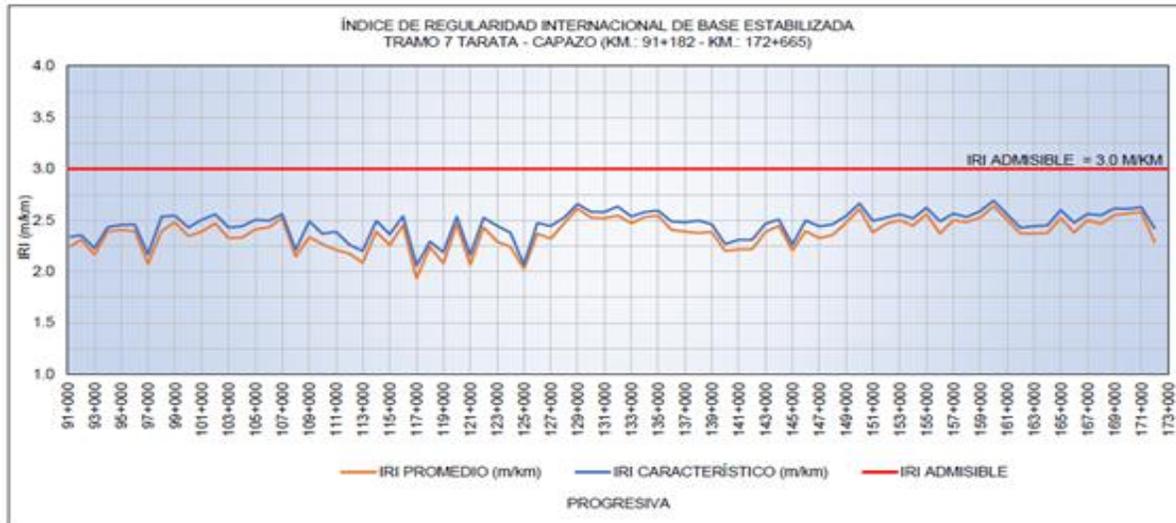


Figura N° 12. Índice de regularidad Internacional (IRI) del tramo 7 Tarata-Capazo (De la Torre Illescas, 2018).

e) Experiencia en el uso de esta tecnología

En el caso particular de esta carretera, De la Torre llegó a la conclusión que la alternativa con el uso de emulsión asfáltica como estabilizador era más factible que el uso de cemento. Una de las razones de esta aseveración es debido a que los coeficientes estructurales del suelo aumentaron hasta el doble del valor que tuvieron cuando en los tramos de prueba se usó simplemente base granular sin estabilización.

2.2.3.3. Carretera de acceso a la Vereda La Argentina del Municipio de Villavicencio Meta

Al igual que en el ejemplo anterior se buscó otra carretera donde se hayan obtenido datos de desempeño. Un estudio de este caso corresponde a la carretera de acceso a la Vereda La Argentina en Colombia. La información de esta carretera fue obtenida del trabajo de titulación elaborado por Chávez Y., Hernández N. y Ricaurte C. (2018).

a) Información general

La carretera está ubicada en Colombia, en el municipio de Villavicencio-Meta. La misma tiene una longitud de 2.1 km y su ancho predominante varía entre los 6 y 7 m. El año de construcción de la carretera es el 2012.

El relieve existente en la zona va desde fuertemente quebrado a escarpado, con pendientes largas,



muy pronunciadas mayores del 50 %; existen cunetas en concreto, alcantarillas. La vía se encuentra entre los 800 y 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar, en un clima que va de cálido a templado, con temperaturas que oscilan entre los 18 °C y los 25 °C.

b) Datos del diseño

En el lugar se encontró una subrasante de pobre a regular según la norma colombiana, variando sus valores entre 3.4 % y 7.2 % de capacidad CBR.

La estructura del pavimento se compone de las capas y espesores mostrados en la Tabla N° 29.

*Tabla N° 29. Estructura del pavimento de la carretera Villavicencio-Meta
(Chávez, Hernández, & Ricaurte, 2018).*

Capa	Espesor (cm)
Base estabilizada	0.1
Subbase granular	0.25
Afirmado subrasante	0.15
Total	0.5

Para la estabilización se usó un asfalto natural (crudo de Castilla), el cual tiene un promedio de contenido de asfalto del 83 % comparado con el de la emulsión de 60 %. El método usado fue el método Marshall. De acuerdo a ensayos de la vía el porcentaje de asfalto encontrado en la carretera fue de 3.26 %, pero al no conocerse el diseño original se asumió que se usó el mínimo de 4.93 %, y que debido a su edad ha perdido asfalto.

c) Desempeño de la carretera

La evaluación del pavimento se realizó en el año 2018; se usaron los criterios del Manual para la Inspección visual de pavimentos Flexibles del Ministerio de transporte y el Instituto nacional de vías (INVIAS).

Se encontraron baches en dos tramos donde existe desintegración de la capa estabilizada. Sus posibles causas se identificaron como la presencia de humedad, retención de agua en fisuras y deficiencia de espesores en las capas estructurales.

La segunda afección más común fue el desgaste superficial, el cual fue más severo en el tercer tramo. Según se indica esto fue causado por el tránsito y la escorrentía por la baja capacidad de la cuneta. La piel de cocodrilo es otra de las afecciones encontradas en la carretera, encontradas en zonas de repetición de carga. Tiende a iniciarse al fondo de las capas. Las causas identificadas



fueron por problemas de drenaje, fallas por fatiga, falla de la base estabilizada y deformaciones en la subrasante.

d) Experiencia en el uso de esta tecnología

Chávez, Hernández y Ricaurte llegan a la conclusión que la vía necesita una rehabilitación ya a los 6 años de su construcción, esto debido a que existen gran cantidad de patologías en el pavimento y no se han realizado procesos de mantenimiento en la vía desde su construcción. Se recomienda colocar una capa de micropavimento que proteja a la capa de base estabilizada y alargue los tiempos de mantenimiento, ya que al estar la capa estabilizada a la intemperie es más fácil que pierda sus características estructurales y se deteriore rápidamente. Por último, se recomienda que el porcentaje de emulsión a usar en la estabilización sea mayor a 4.9 % para obtener unos mejores resultados en el caso de estudio.

2.2.3.4. Vía Las Mercedes – Puerto Nuevo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Es uno de los estudios de estabilización con emulsión asfáltica realizados sobre el suelo natural, donde se compara mediante el ensayo CBR (Relación de soporte de california) con muestras simples y muestras estabilizadas con emulsión asfáltica, la información se extrajo del trabajo de titulación: Estabilización de suelos con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas de rotura lenta. Caso de estudio vía Las Mercedes – Puerto Nuevo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas elaborado por Almeida F. y Sánchez E., 2011.

a) Información general

La vía se encuentra en Ecuador, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, tiene una longitud de 9.42 km, corresponde a un camino vecinal con un ancho aproximado de entre 4 y 5 metros, la superficie de rodadura es de material granular con espesor variable de 10 a 40 cm, se considera una vía ondulada y montañosa a una elevación de entre 612 a 795 m.s.n.m. es una zona de alta pluviosidad. El estudio se realizó en 5 km del camino ya que este tramo se considera es representativo.

b) Datos del diseño

El suelo natural se considera según la SUCS de suelos finos, plásticos, con alta humedad debido



a la zona en que se encuentra ubicada. La capacidad de CBR varía entre 9.7 % a 11.8 %.

No se diseñó una estructura de pavimentos, se comparó las muestras simples con muestras estabilizadas variando su porcentaje de emulsión asfáltica de 5, 10, 15, 20 y 25 %.

c) Experiencia en el uso de esta tecnología

Dentro de los aspectos sobresalientes de los resultados realizados en laboratorio de la comparación del efecto de la estabilización del suelo con emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta son:

- Disminución del porcentaje de absorción de agua en muestras estabilizadas, cuando se aumenta el porcentaje de emulsión asfáltica lo cual disminuye la permeabilidad de estos suelos como se puede apreciar en la Tabla N° 30 de la muestra en la abscisa 0+020.

Tabla N° 30. Resultados de ensayos de absorción en las muestras (Almeida & Sánchez, 2011).

Golpes	Absc: 0+020			Absc: 2+010			Absc: 4+020		
	56	25	11	56	25	11	56	25	11
	% Absorción			% Absorción			% Absorción		
0% Emulsión	4.78	8.35	12.81	4.16	6.28	9.49	2.99	5.73	7.27
5% Emulsión	4.51	6.40	11.04	3.79	5.72	8.88	2.50	4.41	7.06
10% Emulsión	3.61	5.49	8.09	3.30	5.00	7.71	1.85	3.18	6.85
15% Emulsión	2.15	4.85	7.77	1.89	4.82	6.16	1.02	2.31	6.05
20% Emulsión	1.93	4.36	7.59	1.26	2.77	4.78	0.62	2.26	5.51
25% Emulsión	1.16	3.90	6.72	1.22	2.20	2.39	0.40	1.92	4.15

- Los efectos de la emulsión asfáltica sobre el suelo con porcentajes altos en los ensayos de capacidad CBR son casi nulos, debido a su alto porcentaje de finos en su granulometría, lo cual al realizar la mezcla la emulsión asfáltica no llega a adherirse al suelo completamente formándose grumos.

Tabla N° 31. Resultados del ensayo de capacidad portante (CBR) en las muestras (Almeida & Sánchez, 2011).

% Emulsión	Absc: 0+020		Absc: 2+010		Absc: 4+020	
	%CBR,0.1”	%CBR,0.2”	%CBR,0.1”	%CBR,0.2”	%CBR,0.1”	%CBR,0.2”
0	9.70	11.80	11.60	13.60	11.50	12.80
5	9.90	11.70	11.90	13.60	11.60	13.10
10	9.90	11.90	11.90	13.80	11.90	13.20
15	10.20	12.00	12.20	14.20	12.40	13.70
20	10.10	12.01	12.10	14.00	12.00	13.40
25	9.90	12.00	12.00	14.10	11.90	13.10



- Como conclusión final el documento expresa que la emulsión asfáltica reduce la permeabilidad del suelo, pero los suelos finos no se pueden estabilizar con emulsión asfáltica, ya que requiere una cantidad excesiva de emulsión asfáltica produciendo un costo muy elevado; además de la dificultad de poder realizar la mezcla homogéneamente.



CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. Carreteras casos de estudio

Dentro del ámbito de la investigación se seleccionó carreteras que corresponden a vías de tercer orden dentro de la provincia del Azuay y cuya jurisdicción administrativa está a cargo de la Prefectura del Azuay.

Para seleccionar las vías se solicitó información a la prefectura del Azuay de todas las vías estabilizadas con emulsión asfáltica. Las vías fueron seleccionadas al tomar en consideración dos aspectos: presencia de una capa de rodadura (DTSB) que protege el suelo estabilizado de los agentes externos y una mayor información sobre el resto de carreteras. Siendo las carreteras escogidas la Ricaurte-Llacao y la Monay-El Valle.

3.1.1. Carretera Ricaurte-Llacao

a) Ubicación

Se encuentra ubicada en la provincia del Azuay en el cantón Cuenca en las parroquias Ricaurte y Llacao, las cuales se encuentran en la parte Este del cantón y al norte de la parte urbana del mismo. En la Figura N° 13 se muestra la ubicación de la carretera de estudio. El tramo de estudio inicia en el sector El Arenal en las coordenadas 726675 Este; 9684191 Sur y termina al llegar al puente sobre el río Sidcay en las coordenadas 727171 Este; 9684789 Sur en la zona 17 Sur. La zona tiene una temperatura de 12 - 20°C (GAD de la parroquia Ricaurte, 2015). La carretera se encuentra a una altura promedio de 2500 msnm.

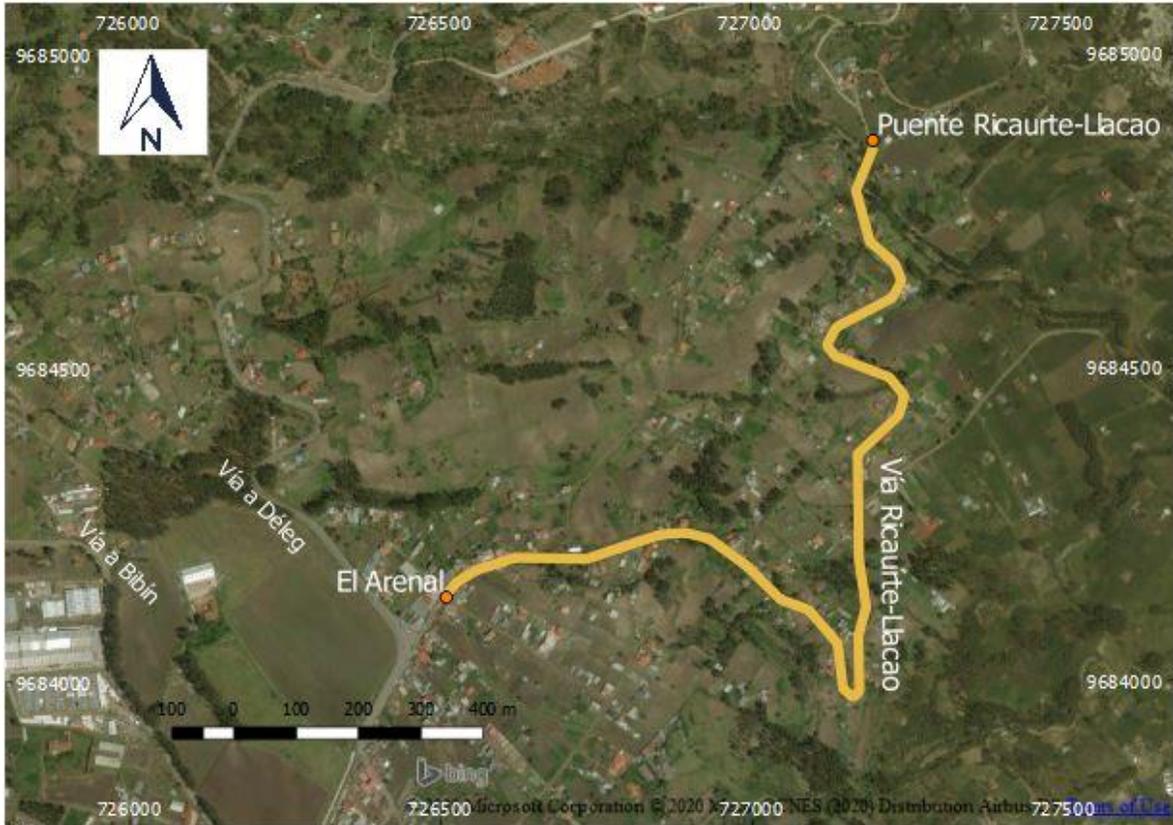


Figura N° 13. Mapa de la carretera Ricaurte-Llacao (Programa Bing Maps).

b) Datos de la carretera

Según la información recopilada se pudo extraer los siguientes datos que se presentan en la Tabla N° 32.

Tabla N° 32 Características de la vía Ricaurte-Llacao (Programa Google Earth).

Característica	Valor
Longitud (m)	1650
Ancho promedio (m)	6
Tipo de terreno	Montañoso
Pendiente promedio (%)	8.5
Pendiente máxima (%)	23

Se realizó una inspección visual y se pudo notar que no cuenta con sistema de drenaje como cunetas en los bordes y señalización.

La estructura del pavimento consta de las siguientes capas que se presentan en la Tabla N° 33 las cuales fueron extraídas de los datos brindados por la Prefectura del Azuay y corroboradas en campo (Figura N° 14).

Tabla N° 33. Espesor de las capas del pavimento de la vía Ricaurte-Llacao.

Descripción	Espesor (cm)
Capa de rodadura (Doble tratamiento bituminoso)	2
Capa estabilizada con emulsión asfáltica	10
Capa material grava-arcilla	Desconocido
Subrasante	-



Figura N° 14. Espesor de la capa de rodadura (Doble tratamiento bituminoso).

El tráfico promedio diario anual de la carretera según los estudios realizados por la prefectura del Azuay en el año 2017 es de 471 veh/día para el tramo desde sector El Arenal hasta el puente sobre el río Sidcay en la carretera Ricaurte-Llacao. Para el tramo restante desde el punto sobre el río Sidcay hasta el centro parroquial de Llacao tiene un valor de TPDA de 91 veh/día. (Prefectura del Azuay, 2017).

c) Proceso de estabilización

El diseño de la estabilización fue desarrollado por la empresa que suministró la emulsión asfáltica los cuales determinaron un porcentaje de 5.79 % mediante el uso del ensayo Marshall. En el momento de la estabilización del suelo se ocupó de 3.2 % según los registros en campo sobre el consumo de emulsión asfáltica.

El proceso se realizó según lo explicado anteriormente en la sección 2.1.3.5 apartado V, para estabilizaciones in-situ, con la máquina estabilizadora WIRTGEN DITECA WR 240 perteneciente a la Prefectura del Azuay. Se excavó 10 cm del material existente en la superficie de la carretera. La máquina estabilizadora tiene una capacidad de desgarre y mezcla de 2.4 m de ancho, según el registro y experiencia en campo se estabilizó alrededor de 8000 m²/día en un



clima favorable, el cual equivale a una velocidad de 2.5 m/min. De la capa de rodadura con doble tratamiento bituminoso se encargó la empresa Asfaltar EP perteneciente a la Prefectura del Azuay. La capa de doble tratamiento bituminoso se conformó por una capa de material granular de 3/4 pulgada sobre esta una capa de brea, posterior una capa de material granular de 3/8 pulgada y por último una capa de brea.

Desde la rehabilitación de la carretera, la cual empezó el 12 de febrero y culminó el 8 de marzo del 2019 conformando por la estabilización del suelo encontrado en la superficie de la carretera y el doble tratamiento bituminoso como capa de rodadura la carretera no ha recibido ningún mantenimiento.

3.1.2. Carretera Monay-El Despacho-El Valle

a) Ubicación

Se encuentra ubicada en la provincia del Azuay en el cantón Cuenca en las parroquias Monay y El Valle, las cuales se encuentran en la parte este del cantón y al sur de la parte urbana del mismo. En la Figura N° 15 se muestra la ubicación de la carretera de estudio. La carretera inicia en el centro parroquial de El Valle en las coordenadas 726144 Este; 9675204 Sur y termina en las coordenadas 726065 Este; 9677641 Sur en la zona 17 Sur. La zona tiene una temperatura de 12 - 20 °C (GAD de la parroquia El Valle, 2015). La carretera se encuentra a una altura promedio de 2520 msnm.

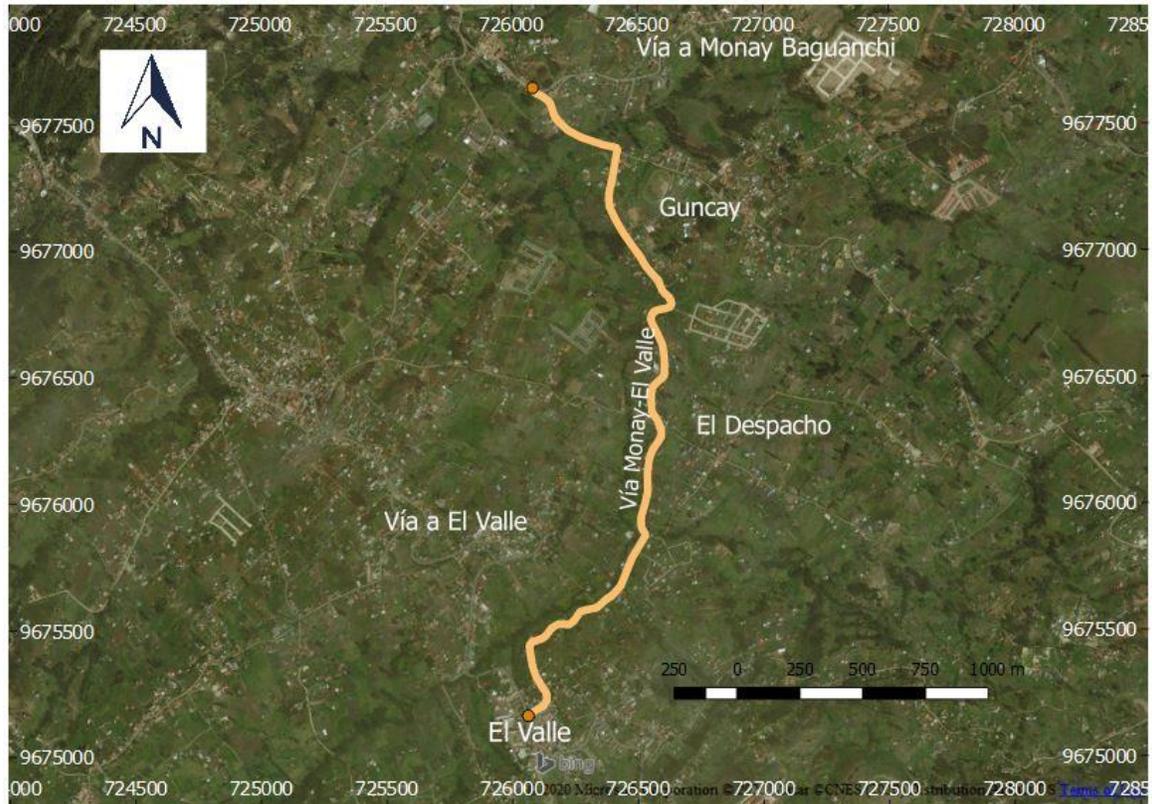


Figura N° 15. Mapa de la carretera Monay-El Valle (Programa Bing Maps).

b) Datos de la carretera

Según la información recopilada se pudo extraer los siguientes datos que se presentan en la Tabla N° 34.

Tabla N° 34 Características de la vía Monay-El Valle (Programa Google Earth)

Característica	Valor
Longitud (m)	3080
Ancho promedio (m)	7.5
Tipo de terreno	Ondulado
Pendiente promedio (%)	3.5
Pendiente máxima (%)	12

Mediante una inspección visual de la carretera se pudo notar que no cuenta con sistema de drenaje como cunetas en los bordes y señalización.

La estructura del pavimento consta de las siguientes capas que se presentan en la Tabla N° 35 y en la Figura N° 16 los cuales fueron posibles medir debido a que en el km 1+480 se encontraba una excavación realizada por terceros e información recopilada de los documentos brindados por la Prefectura del Azuay.

Tabla N° 35. Espesor de las capas del pavimento de la vía Monay-El Valle.

Descripción	Espesor (cm)
Capa de rodadura (Doble tratamiento bituminoso)	2
Capa estabilizada con emulsión asfáltica	15
Capa material grava-arcilla	37
Subrasante	-

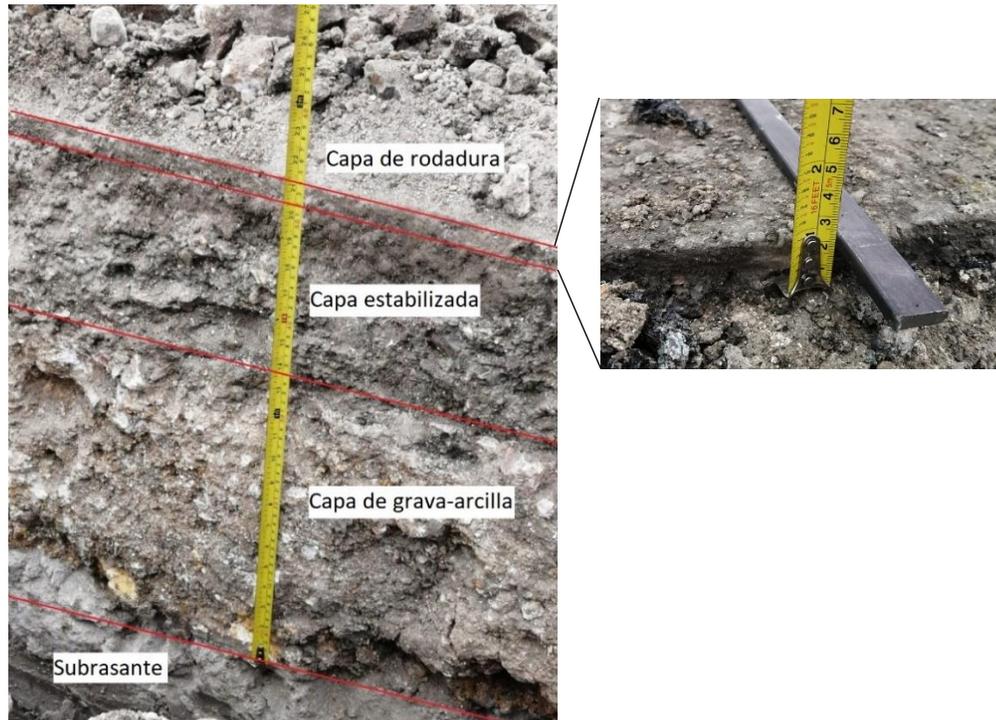


Figura N° 16. Espesor de las capas del pavimento excavación en el Km 1+480.

El tráfico promedio diario anual de la carretera según los estudios realizados por la prefectura del Azuay en el año 2017 es de 455 veh/día para el tramo Cruce de Monay-Guncay y 184 veh/día en el tramo Guncay-El Valle. (Prefectura del Azuay, 2017). Sin embargo, en el momento en que se estaba realizando los ensayos se puede notar que por la vía transita un gran número de vehículos pesados tipo volquetas y camiones de carga.

c) Proceso de estabilización

El diseño de la estabilización fue desarrollado por la empresa que suministró la emulsión asfáltica los cuales determinaron un porcentaje de 4.3 % mediante el uso del ensayo Marshall. En el momento de la estabilización del suelo se optó por ocupar un valor más conveniente de 4.5 %. El proceso se realizó según lo explicado anteriormente en la sección 2.1.3.5 apartado V, para



estabilizaciones in-situ, con la máquina estabilizadora WIRTGEN DITECA WR 240 perteneciente a la Prefectura del Azuay. Se excavó 15 cm del material existente en la superficie de la carretera con el objetivo de mejorar el diseño realizado en vías anteriores. La máquina estabilizadora tiene una capacidad de desgarrar y mezcla de 2.4 m de ancho, según el registro y experiencia en campo se estabilizó alrededor de 8000 m²/día en un clima favorable, el cual equivale a una velocidad de 2.5 m/min. La capa de rodadura con doble tratamiento bituminoso fue encargada a la empresa Asfaltar EP perteneciente a la Prefectura del Azuay. El doble tratamiento bituminoso está conformado por varias capas: una de material granular de 3/4 pulgadas, sobre esta una capa de brea, posterior una capa de material granular de 3/8 pulgada y por último una capa de brea.

Desde la rehabilitación de la carretera en abril del 2019 conformada por la estabilización del suelo encontrado en la superficie de la carretera y el doble tratamiento bituminoso como capa de rodadura la carretera no ha recibido ningún mantenimiento. Además, se observó que frentistas de la carretera han destruido el pavimento para la instalación de obras sanitarias sin realizar las reparaciones debidas en la calzada.

3.1.3. Resultados de laboratorio

Los datos de laboratorio concernientes a material granular de grava-arcilla (lastre) típicamente encontradas en las carreteras terciarias de la provincia fueron obtenidos de informes de suelos ejecutados por la Prefectura del Azuay. Estos corresponden a 3 muestras, las cuales pertenecen a diferentes sitios: muestra 1 pertenece a la carretera Ricaurte-Llacao abscisa 1+600, Muestra 2 pertenece a la carretera Ricaurte-Llacao en la abscisa 2+000 y la muestra 3 pertenece a la carretera Ricaurte-Molinopamba; el material granular correspondiente a las distintas carreteras tienen como origen la misma mina Llatcón (García Valencia, 2020).



Para la granulometría se presentan los siguientes resultados en la Tabla N° 36:

Tabla N° 36. Granulometría del suelo (Prefectura del Azuay).

Porcentaje que pasa				
Tamiz	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
1 1/2"	100	100	100	100
1 "	99	98	98	99
3/4 "	97	95	96	96
1/2"	97	95	96	96
3/8"	86	77	83	82
N° 4	66	55	60	60
N° 8	55	41	-	48
N° 10	35	26	43	35
N° 40	35	26	25	29
N° 50	35	26	-	30
N° 100	35	26	-	30
N° 200	25	18	19	20

Los límites de Atterberg se muestran en la Tabla N° 37:

Tabla N° 37. Límites de Atterberg de los suelos (Prefectura del Azuay).

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Límite líquido (%)	32.2	31.8	31	31.7
Límite plástico (%)	19.1	19.7	20	19.6
Índice plasticidad (%)	13.1	12.1	10	11.7

Los valores de CBR y los módulos resilientes son los mostrados en la Tabla N° 38:

Tabla N° 38. Valores de CBR y Mr del suelo (Prefectura del Azuay).

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
CBR (%)	23.4	22	20
Módulo resiliente (psi)	19217	18473	17380

El valor del módulo resiliente fue obtenido con la siguiente ecuación proporcionada por la NCHRP (NCHRP, 2004):

$$Mr = 2555 * CBR^{0.64}$$

Ecuación N° 14

Donde:

Mr = Módulo resiliente (psi)

CBR = California Bearing Ratio (%)

El valor del módulo resiliente será de utilidad para la evaluación estructural del pavimento.



3.2. Evaluación funcional

3.2.1. Número de muestras

En el caso de las carreteras estudiadas, para evaluar el PCI es de gran importancia conocer y dividir las vías en unidades de muestreo. Según lo expuesto en la sección 2.1.4.5 se debe tener un área de muestras de $230 \pm 93 \text{ m}^2$. Para obtener unidades con áreas de muestreo aceptables la carretera Ricaurte-Llacao fue dividida como se muestra en la Tabla N° 39.

Tabla N° 39. Unidades de muestreo en la carretera Ricaurte-Llacao.

Carretera Ricaurte-Llacao	
Ancho de carril promedio (m)	6
Longitud (m)	1650
Longitud de unidad de muestreo (m)	40
Área de unidad de muestra (m^2)	240
Número de muestras totales	41

Mientras tanto en el caso de la carretera Monay-El Valle se tiene un ancho de calzada mayor; entonces el número de unidades de muestreo es el que se indica en la Tabla N° 40.

Tabla N° 40. Unidades de muestro en la carretera Monay-El Valle.

Carretera Monay-El Valle	
Ancho de carril promedio (m)	7.5
Longitud (m)	3090
Longitud de unidad de muestreo (m)	30
Área de unidad de muestra (m^2)	225
Número de muestras totales	103

Una vez obtenidos los números de unidades de muestreo en ambas vías, y mediante el uso de la Ecuación N° 4 se puede conocer el número de unidades de muestreo que se deben evaluar; esto tomando en cuenta una desviación estándar de 10 y un error en el PCI de 5 puntos.

3.2.2. Recálculo del número de muestras por desviación estándar

En el caso de la vía Ricaurte-Llacao se necesitaron unidades de muestra adicionales ya que la desviación estándar obtenida con la Ecuación N° 5 dio como resultado una desviación estándar de 25.4, con lo que al recalcular el número de muestras necesarias ésta fue de 30. Con esto se tiene que las muestras necesarias y evaluadas son las siguientes:

Tabla N° 41- Muestras necesarias y evaluadas de la carretera Ricaurte-Llacao.

Carretera Ricaurte-Llacao	
Número de muestras mínimas necesarias	30
Número de muestras evaluadas	31
Desviación estándar	25.4

En el caso de la carretera Monay-El Valle, al ya haber tenido inconvenientes con el número de muestras en la carretera anterior, se decidió tomar 52 muestras, teniéndose la desviación estándar y número de muestras requeridas expuesto en la Tabla N° 42.

Tabla N° 42, Muestras necesarias y evaluadas de la carretera Monay-El Valle.

Carretera Monay-El Valle	
Número de muestras mínimas necesarias	33
Número de muestras ensayadas	52
Desviación estándar	17.15

Una representación gráfica de las muestras e intervalos tomados para cada carretera se presenta en la Figura N° 17:

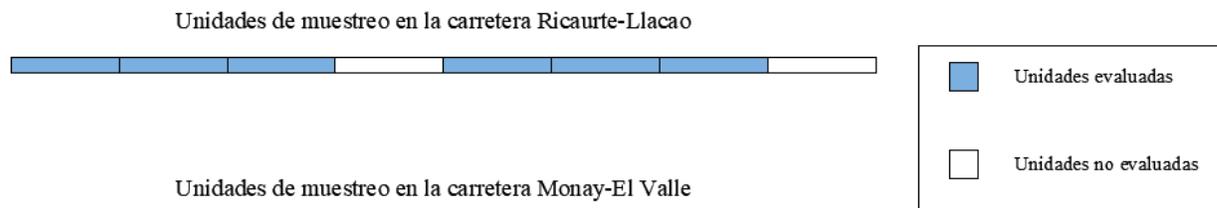


Figura N° 17. Intervalos de muestreo.

3.2.3. Toma de datos

Las hojas en las que se reportaron los resultados de las mediciones cuentan con el formato mostrado en la Figura N° 18, el mismo que es el recomendado en la norma ASTM D 6433-07.



Figura N° 20. Fallas en la vía Monay-El Valle (izquierda Ahuellamiento, derecha depresiones).

3.2.4. Cálculo del PCI de las muestras

El cálculo del PCI de las dos vías de estudio fue realizado con el procedimiento descrito en la sección 2.1.4.5. A continuación, se puede ver el ejemplo del cálculo de una unidad de muestreo:

Muestra 12		Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										Esquema		
Zona: Puente Llacao - Ricaurte		Abscisa inicial 0+880		Unidad de muestreo 12		5.6		40		5.5				
Encuestado por Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final 0+920		Área de muestreo m ² 222		Fecha 8/12/2020								
1. Piel de cocodrilo		6. Depresión		11. Parcheo		16. Desplazamiento								
2. Exudación		7. Grietas de borde		12. Pulimento de agregados		17. Grieta parabólica (slippage)								
3. Agrietamiento en bloque		8. Garetas de reflexión de junta		13. Huecos		18. Hinchamiento								
4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril / berma		14. Cruce de vía férrea		19. Desprendimiento de agregados								
5. Corrugación		10. Grietas Long / transversal		15. Ahuellamiento										
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor a deducir
11	L	6.125										6.125	2.76	8
13	L	1										1	0.45	10.2
7	L	2.3										2.3	1.04	3
1	M	2.31	3.15									5.46	2.46	18.5
13	M	1	1	1								3	1.35	35
10	L	3.5										3.5	1.58	0
19	L	24	40									64	28.83	5
15	L	9										9	4.05	20

Figura N° 21. Datos de la evaluación de la muestra 12 de la carretera Ricaurte-Llacao.

Una vez calculados los valores a deducir es necesario calcular cuántos de estos valores se podrá usar en el cálculo del PCI. Para conocer esta cantidad se usó la Ecuación N° 7 con lo cual se determinó la información de la Tabla N° 43.



Tabla N° 43. Número de reducción para el cálculo del PCI.

Número de deducciones permitidas	6.96
Número total de deducciones	8
Parte decimal del número de deducciones permitidas	0.96

Entonces para el cálculo del PCI se usarán las 7 primeras deducciones en orden de mayor a menor. Las 6 primeras cantidades se usa el mismo valor mostrado en la Tabla N° 43, mientras que la séptima cantidad se multiplica por la parte decimal de m; quedando entonces los valores que se muestran en la Tabla N° 44.

Tabla N° 44. Deducciones usadas.

Deducciones usadas
35
20
19
10
8
5
2.9

Para el cálculo de los valores de deducción corregidos mediante iteración se hizo uso de la Tabla N° 45. Los valores de deducción corregidos, así como se indica en el literal 5 en el apartado II de la sección 2.1.4.5 fueron obtenidos de la Figura N° 5. Por último, se toma el mayor valor de deducción corregido y se lo resta de 100.

Tabla N° 45. Determinación del valor del PCI.

N°	Valores deducidos							VDT	q	VDC
1	35	20	18.5	10.2	8	5	2.9	99.6	7	48
2	35	20	18.5	10.2	8	5	2	98.7	6	48
3	35	20	18.5	10.2	8	2	2	95.7	5	48
4	35	20	18.5	10.2	2	2	2	89.7	4	52
5	35	20	18.5	2	2	2	2	81.5	3	52
6	35	20	2	2	2	2	2	65	2	48
7	35	2	2	2	2	2	2	47	1	46
									Max VDC	52
									PCI(100-MaxVDC)	48

Como se puede observar, el PCI de la muestra 12 de la carretera Ricaurte-Llacao cuenta con un PCI de 48 al momento de la realización del estudio. Finalmente, una vez obtenidos todos los PCI de las muestras se procedió a realizar el cálculo del PCI de la vía mediante la Ecuación N° 8. El resto de los cálculos del PCI se puede apreciar en el Anexo 2 para la vía Ricaurte – Llacao y en el Anexo 3 para la vía Monay – El Despacho – El Valle.



3.2.5. Causas de los diferentes tipos de fallas

Los daños en el pavimento afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del mismo, algunos afectan las características superficiales y otros su capacidad estructural. Todas las fallas se producen por algunas causas ya sea por parte de tráfico, deficiencia en la construcción, factores climáticos imprevistos, insuficiencia de estructura de drenaje, ausencia de mantenimiento (Corros B., Urbáez P., & Corredor M., 2009). En breve se describe las causas para cada tipo de fallas mencionadas en la sección 2.1.4.5, con las cuales se podrá deducir las causas de las fallas en las carreteras en estudio y determinar el comportamiento estructural del pavimento.

1. *Piel de cocodrilo*: Es causado por el insuficiente espesor y resistencia frente a las cargas repetitivas de tráfico en la capa de rodadura asfáltica. Este tipo de falla ocurre solamente en las áreas supuestas a tráfico repetitivo como en las huellas.
2. *Exudación*: Es causado por un exceso de cemento asfáltico en la mezcla, una aplicación excesiva de sello o imprimación bituminosa y/o por un bajo contenido de vacíos en la mezcla, o por caída de aceites o residuos de combustibles no quemados.
3. *Agrietamiento en bloque*: Se origina principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura.
4. *Abultamientos y hundimientos*: Pueden ser causados por factores como: a) Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento tipo Portland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico. b) Expansión por congelamiento. c) Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito.
5. *Corrugación*: Es causado por la acción del tráfico en combinación con una capa de superficie o base inestable.
6. *Depresión*: Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidropilano.
7. *Grietas de borde*: Son causadas por falta de soporte lateral, drenaje inadecuado y falta de captación y confinamiento en el borde del pavimento. Estas fallas pueden ser aceleradas por el tráfico.
8. *Grietas de reflexión de junta*: Son causadas por principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento tipo Portland, inducido por temperatura o humedad.



9. *Desnivel carril / berma*: Es causado por la erosión o asentamiento del hombrillo o a la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin elevar el nivel de hombrillo.
10. *Grietas longitudinales/trasversales*: Se pueden originar por: una deficiente junta constructiva, contracción o endurecimiento del asfalto y/o ciclos térmicos.
11. *Parcheo*: Son rellenos o reparaciones del pavimento existente debido a baches o construcciones en la vía.
12. *Pulimento de agregados*: Son causados por la repetición de cargas de tráfico.
13. *Baches*: Se producen por efecto del tráfico abrasivo sobre la superficie. El pavimento se desintegra por presencia de mezclas pobres, zonas de bajo soporte de la base o subbase o porque el pavimento ha alcanzado una condición de fisuramiento de piel de cocodrilo de alta severidad.
14. *Cruce de vía férrea*: Son defectos asociados al cruce de ferrocarriles.
15. *Ahuellamiento*: Es causada por las cargas de tráfico como consecuencia de fallas en las mezclas asfáltica, insuficiente estabilidad de las capas del pavimento o de la subrasante, insuficientes espesores de las capas del pavimento y un exagerado incremento en las cargas de tránsito.
16. *Desplazamiento*: Es causado por las cargas de tránsito, el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie.
17. *Grieta parabólica*: Usualmente este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica que se coloca sobre una capa de baja resistencia o de un riego de adherencia excesiva o pobre adherencia.
18. *Hinchamiento*: Usualmente es causado por la acción de un suelo expansivo.
19. *Desprendimiento de agregados*: Es producido por consecuencia del excesivo endurecimiento del bitumen debido a una incorrecta manipulación durante la elaboración de la mezcla asfáltica, insuficiente dotación de material bituminoso en la mezcla o inadecuada gradación de los agregados pétreos.

3.2.6. Predicción de deterioro del PCI

Para obtener un mejor provecho de los datos de PCI recolectados de las carreteras de estudio; se plantea la posibilidad de comparar estos datos según modelos de deterioro del PCI, con los que se esperaba que desempeño funcional esté dentro de las proyecciones proporcionadas por los



modelos. El índice de condición de pavimento puede ser modelado mediante curvas que indiquen su comportamiento con el pasar de los años, para lo cual se han tomado dos modelos que proyectan el PCI en el tiempo.

Con el fin de obtener un modelo de deterioro se revisaron varios de estos; algunos para carreteras terciarias obtenidos en diferentes países. Muchos de dichos modelos son obtenidos con parámetros distintos, como valores de PCI en escalas o criterios distintos; o incluso datos de entrada específicos para la zona en la que se calculan. Al intentar ingresar los datos obtenidos de las carreteras de estudio a este tipo de modelos se obtuvieron errores o valores sin sentido.

Por esta razón, para la comparación de las carreteras de estudio se encontró únicamente un modelo el cual contó con la misma escala y proceso de cálculo de PCI que el presentado en la ASTM D 6433-07; además se verificó que el modelo escogido sea calculado especialmente para pavimentos flexibles.

Predicción de desempeño en carreteras de Costa Rica

En Costa Rica con el objetivo de determinar el estado de la red vial cantonal se propuso un modelo matemático expresado en la Ecuación N° 15, en la cual se relaciona el valor del PCI con la edad del pavimento; además se incluye un factor de incertidumbre, el cual puede ser usado en función de la importancia de cada proyecto (Picado Muñoz, 2016).

$$PCI = -0.2181X^2 - 2.2359X + 100 + 6.4386Y$$

Ecuación N° 15

Donde:

PCI = Índice de condición del pavimento en base al tiempo

X = Años del pavimento

Y = Factor de incertidumbre, obtenido de la Tabla N° 46.

Tabla N° 46. Valores de Z0 según la incertidumbre (Picado Muñoz, 2016).

Incetidumbre (%)	Z0
99	-2.57583
95	-1.95996
90	-1.64485
85	-1.43953
80	-1.28155
75	-1.15035

El factor de incertidumbre es la manera de corregir la curva de deterioro en base a la revisión realizada en vías estudiadas anteriormente (Picado Muñoz, 2016).

3.3. Evaluación estructural

3.3.1. Número de muestras

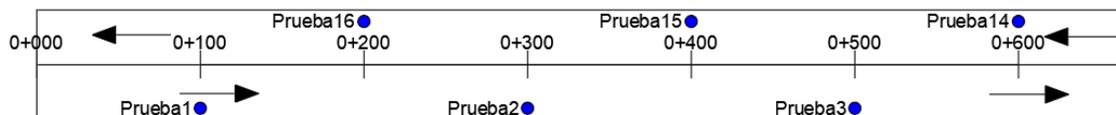
En las carreteras de estudio, previo a realizar las mediciones de deflexiones se requiere conocer los puntos en las vías donde se realizarán los ensayos, los cuales depende del tipo de estudio que se desea realizar. Se optó por el nivel general de proyecto según la sección 2.1.4.6 apartado IV, los intervalos son de entre 50 a 200 m, Tabla N° 9. Localización del punto de ensayo los valores tomados se presentan en la Tabla N° 47 y Tabla N° 48. El esquema de los puntos se los realizó alternando entre los carriles como se presenta en la Figura N° 22.

Tabla N° 47. Puntos de muestreo en la carretera Ricaurte-Llacao.

Carretera Ricaurte-Llacao	
Ancho de carril promedio (m)	6
Longitud (m)	1650
Longitud de los intervalos (m)	100
Número de puntos totales	16

Tabla N° 48. Puntos de muestreo en la carretera Monay-El Valle.

Carretera Monay-El Valle	
Ancho de carril promedio (m)	7.5
Longitud (m)	3090
Longitud de los intervalos (m)	150
Número de puntos totales	20



Puntos de prueba en la carretera Ricaurte-Llacao



Puntos de prueba en la carretera Monay-El Valle

Figura N° 22. Intervalos de muestras.

Para la localización de los puntos de medición sobre el pavimento se utilizó la Tabla N° 9 que depende del ancho del carril en la sección para cada carretera.



3.3.2. Toma de datos

El reporte de las lecturas del dial deformímetro se lo realizó en el formato mostrado en la Figura N° 23, recomendado del estudio de evaluación estructural de pavimentos de Mario S. Hoffman y Pablo M. Del Águila.

Proyecto: _____										
Tipo de pavimento: _____										
Carga de eje: _____										
Presión de inflado: _____										
Fecha: _____										
Realizado por: Jonny Garzón y Ronald Plaza										

Estación	Abscisa	Temperatura (°C)	Lectura de deflectómetro (cm)							
			L0=0	L1=25	L2=50	L3=100	L4=150	L5=200	L6=300	L7=800

Figura N° 23. Hoja de reporte para el ensayo con la viga Benkelman (Hoffman & Del Aguila, 1985).

La toma de datos de la vía Ricaurte-Llacao se realizó el día 1 de septiembre del 2020. Se inició desde el puente del río Sidcay (límite parroquial entre Ricaurte y Llacao), en intervalos de 100 metros alternando entre los dos carriles, los puntos del 1 al 8 en el carril en dirección Llacao-Ricaurte, posterior de regreso en el otro carril en dirección Ricaurte-Llacao los puntos 9-16.

En la vía Monay-El Valle se realizó los ensayos los días 1 y 5 de septiembre del 2020. Se inició desde el centro parroquial de El Valle en dirección Monay, con intervalos de 150 metros alternados entre los dos carriles, los puntos del 1 al 10 en el carril en dirección El Valle-Monay y los puntos 11 al 20 en el carril en sentido Monay-El Valle.

Los equipos utilizados en los ensayos se describen a continuación:

- Viga Benkelman: La cual fue facilitado por del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, del Departamento de Geotecnia, la cual es un modelo de dos brazos como se puede apreciar en la Figura N° 24. La viga que se utilizó tiene los siguientes valores $a = 244$ cm y $b = 61$ cm, $a/b = 244/61 = 4$ (Constante de la viga). Como se puede apreciar en la Figura N° 8.



Figura N° 24. Viga Benkelman del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

- Camión Tipo 2DB: Una volqueta de dos ejes con neumáticos duales en el eje trasero (facilitada por parte de la Prefectura del Azuay), previamente cargada con material granular de la mina de Llatcón de la parroquia Nulti, con un peso en el eje trasero de 8230 Kg para las pruebas del 1 de septiembre y 8200 Kg para el 5 de septiembre. Para pesar el eje trasero de la volqueta, se coloca los 2/3 de la volqueta sobre la báscula. La volqueta se pesó en la báscula de la empresa “Recicladora del Austro” ubicada en la Av. Américas y Milchichig. Los certificados se muestran en el Anexo 4. Con un manómetro se verificó la presión de los neumáticos de la volqueta, los cuales tenían una presión de 80 psi. En la Figura N° 25 se puede apreciar la ubicación de la viga Benkelman en medio de los neumáticos duales exteriores.



Figura N° 25. Volqueta y ubicación de la viga Benkelman.

- Termómetro: Para determinar la temperatura del pavimento y del ambiente se procedió como se lo explica en la sección 2.1.4.6 apartado IV. A continuación, se presenta en la Figura N° 26 la medición de la temperatura en campo.



Figura N° 26. Medición de la temperatura del pavimento.

En el manual del I.N.V E-795 se determina solo la deflexión máxima que se produce debajo del punto de ensayo, también se realizó otras medidas a distancias de 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 8.0 metros desde el punto de ensayo, los cuales permiten moldear la forma del cuenco de deflexiones (Huang, 2004). Con el cuenco de deflexiones es posible realizar un pre diagnóstico de la condición estructural del pavimento y de la subrasante. El proceso de medición se siguió según la sección 2.1.4.6. En la Figura N° 27 se presenta un esquema de la toma de lecturas.

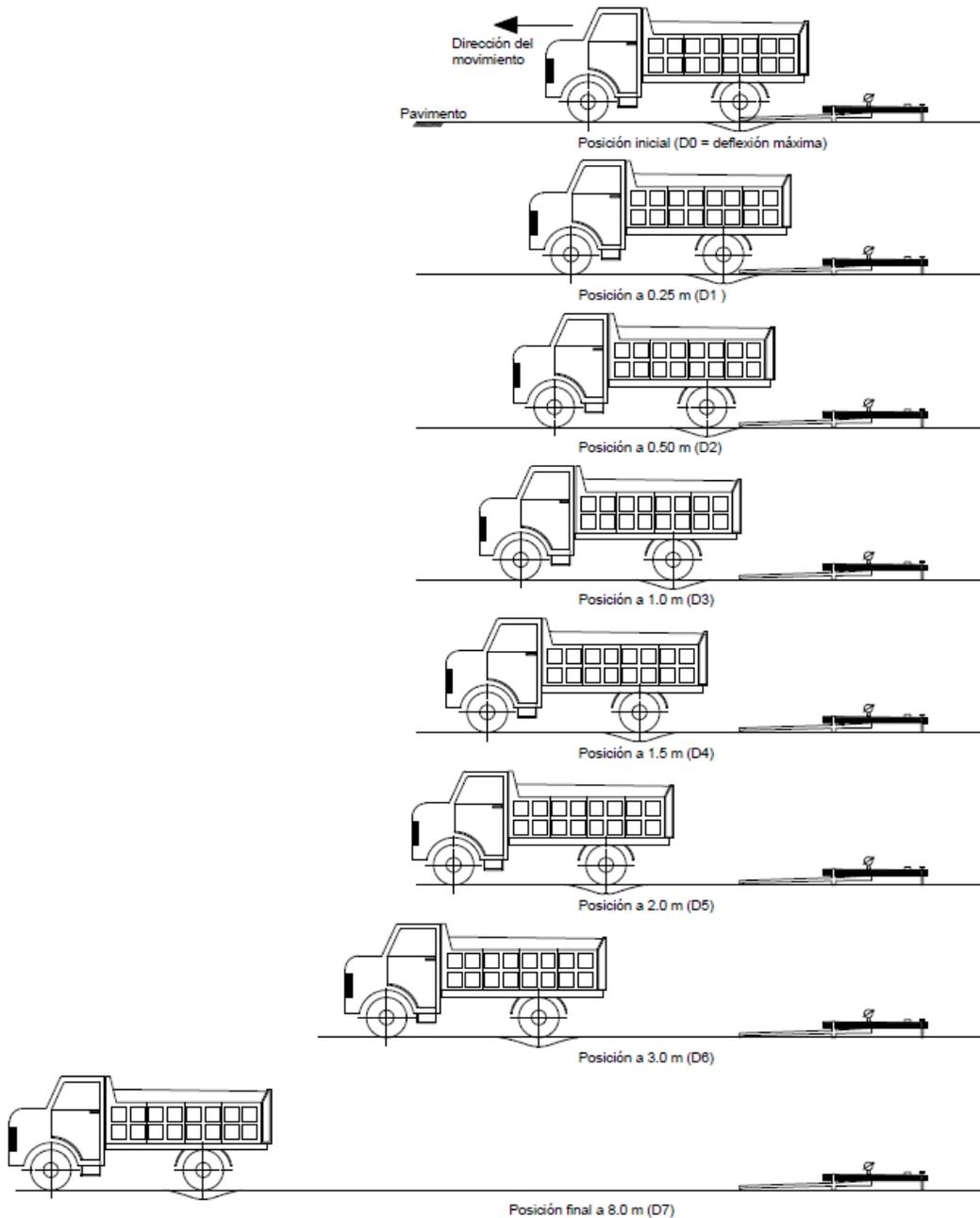


Figura N° 27. Esquema de toma de lecturas de deflexión. (Hoffman & Del Aguila, 1985).

La recopilación de los datos de los primeros 10 puntos de la vía Monay-El Valle se muestra en la Figura N° 28.



Proyecto:	Carretera El Valle - El Despacho - Monay (Sentido El Valle a Monay, avanzada carril derecho)
Tipo de pavimento:	Doble tratamiento superficial bituminoso
Carga de eje:	8230 toneladas
Presión de inflado:	80 psi
Fecha:	1 de septiembre del 2020
Realizado por:	Jonny Garzón y Ronald Plaza

Estación	Abscisa	Temperatura (°C)	Lectura de deflectómetro							
			L0=0	L1=25	L2=50	L3=100	L4=150	L5=200	L6=300	L7=800
1	0+150	17.5	0	1	6	15	22	24	26	27
2	0+450	17.5	0	12.5	18	24.5	26	26.5	27	27.5
3	1+750	17.5	0	8.5	16	22	24.5	26	26	26
4	1+050	17	0	3	5	6	7	7.5	8	9
5	1+350	17	0	5	12.5	18	21	23.5	24	25
6	1+650	17	0	1	8.5	14.5	17	17	17.5	17.5
7	1+950	16.5	0	3	5.5	6.5	7	7.5	8	8.5
8	1+250	16	0	1.5	2	3	4.5	5.5	5.5	5.5
9	1+550	16	0	3	6	9	10.5	11.5	12.5	13.5
10	1+850	16	0	3	7	11.5	13.5	15	15	15

Figura N° 28. Lectura del dial deformímetro.

Las lecturas tomadas en campo se pueden observar en el Anexo 5 de la vía Ricaurte – Llaqueo y la vía Monay – El Despacho – El Valle

3.3.3. Cálculo de las deflexiones

Se aplica el procedimiento de la sección 2.1.4.6 apartado IV, la deflexión recuperable del pavimento D0 en el punto de ensayo y en los demás puntos para obtener el cuenco de deflexiones, para los 10 primeros puntos de la vía Monay-El Valle. Primero se multiplica la lectura del dial por el factor correspondiente del dial de 0.01 mm los cuales se muestra en la Figura N° 29.



Proyecto:	Carretera El Valle - El Despacho - Monay (avanzada carril derecho)
Tipo de pavimento:	Doble tratamiento superficial bituminoso
Carga de eje:	8230 toneladas
Presión de inflado:	80 psi
Fecha:	1 de septiembre del 2020
Realizado por:	Jonny Garzón y Ronald Plaza

Estación	Abscisa	Temperatura (°C)	Lectura de deflectómetro (mm) (lecturaDial*0.01)							
			D0=0	D1=25	D2=50	D3=100	D4=150	D5=200	D6=300	D7=800
1	0+150	17.5	0	0.01	0.06	0.15	0.22	0.24	0.26	0.27
2	0+450	17.5	0	0.125	0.18	0.245	0.26	0.265	0.27	0.275
3	1+750	17.5	0	0.085	0.16	0.22	0.245	0.26	0.26	0.26
4	1+050	17	0	0.03	0.05	0.06	0.07	0.075	0.08	0.09
5	1+350	17	0	0.05	0.125	0.18	0.21	0.235	0.24	0.25
6	1+650	17	0	0.01	0.085	0.145	0.17	0.17	0.175	0.175
7	1+950	16.5	0	0.03	0.055	0.065	0.07	0.075	0.08	0.085
8	1+250	16	0	0.015	0.02	0.03	0.045	0.055	0.055	0.055
9	1+550	16	0	0.03	0.06	0.09	0.105	0.115	0.125	0.135
10	1+850	16	0	0.03	0.07	0.115	0.135	0.15	0.15	0.15

Figura N° 29. Transformación de la lectura de la recuperación de la deflexión.

Las deflexiones recuperables se determinan al aplicar la Ecuación N° 9 y se presentan en la Tabla N° 49 de la estación 1 (punto 1) de la vía Monay-El Valle.

Tabla N° 49. Cálculo de las deflexiones.

Distancia(cm)	Estación 1 (0+150)	
	Lectura del dial (mm)	Deflexión recuperable (mm)
0	0	1.08
25	0.01	1.04
50	0.06	0.84
100	0.15	0.48
150	0.22	0.20
200	0.24	0.12
300	0.26	0.04
800	0.27	0.00

3.3.3.1. Corrección por temperatura

No se realizó la corrección por temperatura de las mediciones debido a que el espesor de la carpeta asfáltica (doble tratamiento bituminoso) es de 2.5 cm y no es igual o superior a 5 cm según la sección 2.1.4.6 apartado IV. La deflexión promedio se realiza según la Ecuación N° 11 y la deflexión característica según la Ecuación N° 12 encontrados en la misma sección.



3.3.3.2. Transformación de deflexiones a equivalentes para FWD

Con la finalidad de evaluar el desempeño de los pavimentos según los métodos de los siguientes literales (capacidad estructural, deflexión admisible, área del cuenco de deflexiones), es necesario hacer uso de deflexiones obtenidas usando el FWD, por lo que es necesario hacer una conversión a las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman. Dichas deflexiones se pueden obtener mediante la Ecuación N° 16 (FHWA, 2017).

$$FWD = 1,066689423 * BB - 1,421566327$$

Ecuación N° 16

Donde:

FWD =Deflexión obtenida con el FWD en 0.001 pulgadas

BB =Deflexión obtenida con la viga Benkelman en 0.001 pulgadas

Las deflexiones obtenidas en esta fórmula son normalizadas, esto es con un plato de 11.8 pulgadas de diámetro y una carga de 9000 libras fuerza (FHWA, 2017).

Las gráficas del cuenco de deflexiones para las estaciones de los ensayos realizados en las carreteras Ricaurte-Llacao y Monay-El Valle se basó en los cálculos de deflexión de la Tabla N° 49 y al transformar a deflexiones para FWD con la Ecuación N° 16, se presenta la siguiente tabla y grafica correspondiente a la estación 1 de la carretera Monay-El Valle.

Tabla N° 50. Transformación de las deflexiones de resultados de Viga Benkelman a FWD de la carretera Monay-El Valle.

Distancia (cm)	Estación 1 (0+150)		
	Lectura deflexión (mm)	Deflexión recuperable (mm)	Deflexión en FWD (mm)
0	0.000	1.080	1.116
25	0.010	1.040	1.073
50	0.060	0.840	0.860
100	0.150	0.480	0.476
150	0.220	0.200	0.177
200	0.240	0.120	0.092
300	0.260	0.040	0.007
800	0.270	0.000	0.000

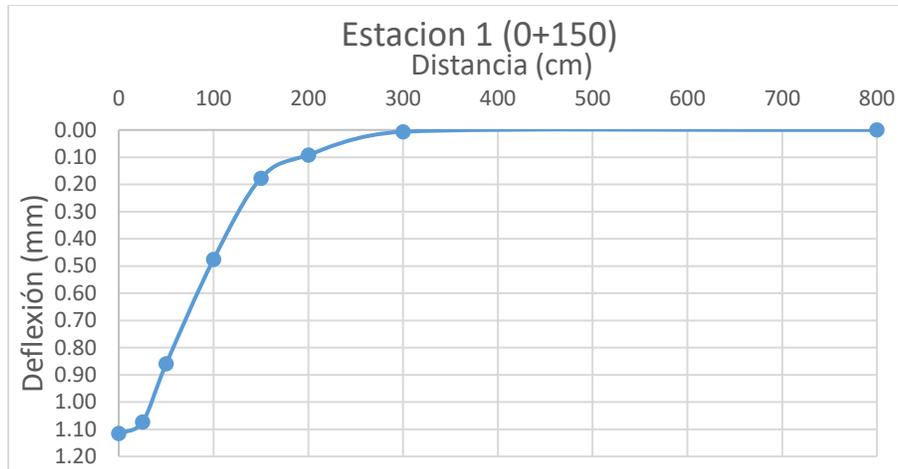


Figura N° 30. Cuenco de deflexión de la estación 1 (abscisa 0+150), con deflexiones transformadas en FWD de la carretera Monay – El Valle.

3.3.4. Capacidad estructural

Para poder evaluar la capacidad estructural de una vía estabilizada y compararla con una construida de manera convencional; se aspira a encontrar los números estructurales de los pavimentos reales, estabilizado con emulsión asfáltica; y de pavimentos hipotéticos de espesores iguales, pero sustituyendo la capa estabilizada por una de base granular normal.

Una de las formas de realizar esta comparación es mediante el número estructural; el cual es un número adimensional que representa la resistencia estructural que un pavimento debe tener para ciertas condiciones de subrasante, tráfico y factores ambientales (AASHTO, 1993). Existen diversas formas de encontrar este valor, en los casos a analizar se determinará el número estructural de la base granular mediante las propiedades del material; mientras que el SN de las vías de estudio será obtenido en base a los resultados de deflectometría (Corros B., Urbáez P., & Corredor M., 2009).

3.3.4.1. Capacidad estructural de acuerdo a las propiedades de los materiales

El número estructural de un pavimento en función de las capacidades estructurales de sus capas está expresado con la Ecuación N° 17:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Ecuación N° 17

Donde:

SN = Número estructural

a_i = Coeficiente estructural de la capa i

D_i =Espesor de la capa i

m_i =Coeficiente de drenaje de la capa i

Según la AASHTO (1993) el desarrollo de un paquete estructural en el diseño de un pavimento depende de las características resistentes de cada una de las capas del mismo. En orden de obtener valores que puedan representar dichas características, se usan los coeficientes estructurales. Para una carpeta asfáltica, base granular y subbase granular se tiene que el coeficiente estructural es en base en las Figura N° 31, Figura N° 32 y Figura N° 33.

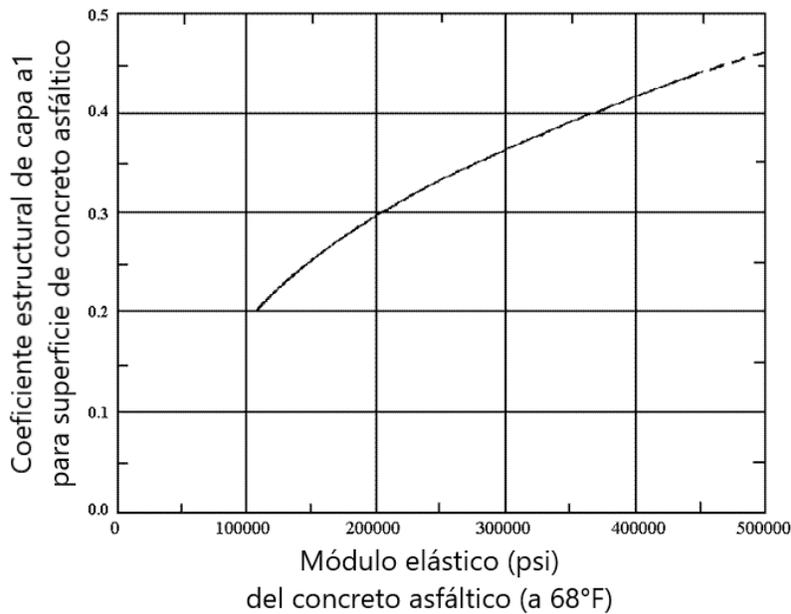


Figura N° 31. Coeficiente estructural para una carpeta asfáltica (AASHTO, 1993).

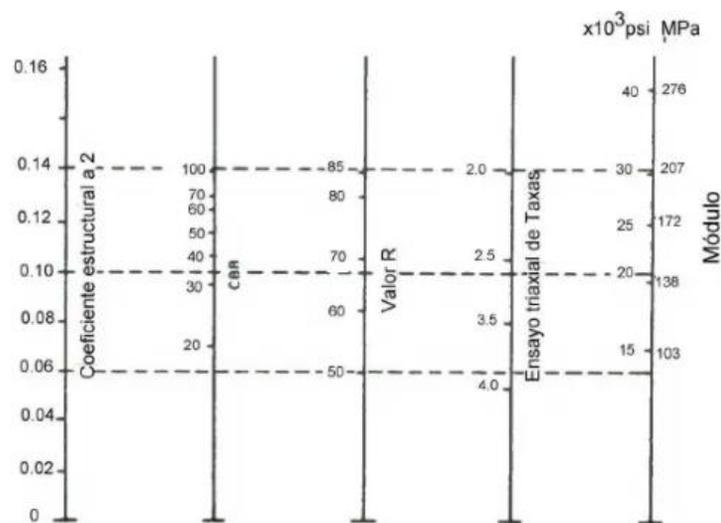


Figura N° 32. Coeficiente estructural para bases granulares (AASHTO, 1993).

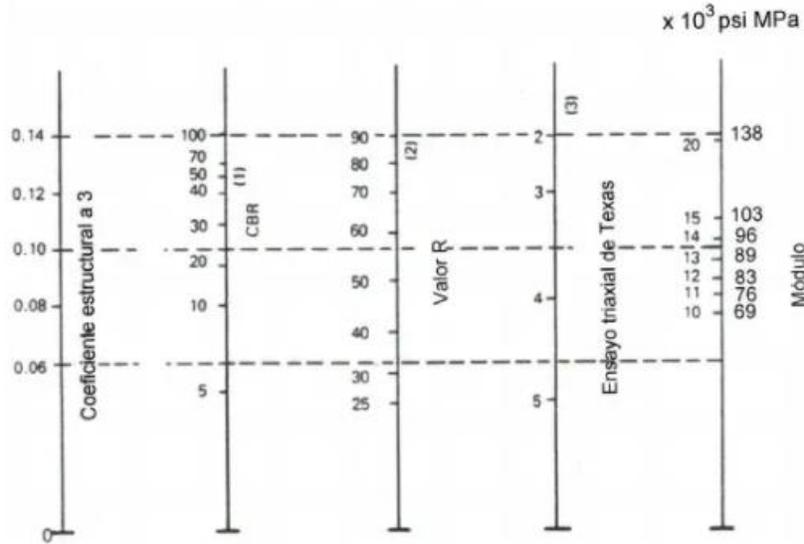


Figura N° 33. Coeficiente estructural para subbases granulares (AASHTO, 1993).

En lo que se refiere a los coeficientes de drenaje, estos dependen de la calidad de drenaje del material y pueden ser encontrados en base a la Tabla N° 51 y Tabla N° 52.

Tabla N° 51. Calidad de drenaje (AASHTO, 1993).

Calidad de drenaje	50 % de saturación en:	85 % de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Tabla N° 52. Coeficiente de drenaje (AASHTO, 1993).

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próxima a la saturación			
	<1 %	1-5 %	5-25 %	>25 %
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.4

3.3.4.2. Capacidad estructural mediante resultados de deflectometría

El valor del número estructural en un pavimento puede ser determinado en base a valores de deflectometría obtenidos mediante ensayos no destructivos.



De acuerdo a modelos de retro-cálculo que hacen uso de la teoría elástica multicapa se ha logrado determinar el módulo resiliente de la subrasante mediante la Ecuación N° 18.

$$Mr = C \left(\frac{0.24P}{d_r r} \right)$$

Ecuación N° 18

Donde:

Mr =Módulo resiliente de la subrasante (psi)

C =Coeficiente

P = Carga aplicada (lb)

d_r = Deflexión medida a una distancia r del punto de deflexión máxima (pulg)

r = Distancia a la que se mide d_r (pulg)

En lo que respecta al valor de “C” en la Ecuación N° 18 este valor es variable dependiendo del autor al que se consulta. La AASHTO recomienda adoptar un valor de 0.33; sin embargo, se ha demostrado que este valor es generalmente muy por debajo del módulo resiliente de la subrasante lo que sobredimensiona la estructura del pavimento cuando se diseñan espesores. Algunos autores han logrado determinar valores de “C” de 0.69 o mayores (Corros B., Urbáez P., & Corredor M., 2009); por lo que es importante tener criterio a la hora de seleccionar el valor.

La Ecuación N° 18, a su vez, requiere que la distancia “r” sea lo suficientemente grande para la deflexión ocurrida sea únicamente debido a la deformación de la subrasante (Corros B., Urbáez P., & Corredor M., 2009). Con lo que se tiene que “r” debe ser:

$$r \geq 0.7a_e$$

Ecuación N° 19

Donde:

a_e =Radio efectivo

A su vez el radio efectivo es igual a:

$$a_e = \sqrt{\left[a^2 + \left(D * \sqrt[3]{\frac{EP}{Mr}} \right)^2 \right]}$$

Ecuación N° 20

Donde:

a_e =Radio efectivo del bulbo de esfuerzos en la interface entre la sub-rasante y la estructura de pavimento (pulg)

a =Radio circular del plato de contacto (pulg)



D = Espesor total de las capas de pavimento, sobre la sub-rasante (pulg)

EP =Módulo efectivo del pavimento de todas las capas sobre la fundación (psi)

Mr =Módulo resiliente de la subrasante (psi)

Simultáneamente se debe resolver la Ecuación N° 21, la cual tiene como incógnitas EP y Mr .

$$d_0 = 1.5 * P * a * \left[\frac{1}{Mr * \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a}\right)^2 \sqrt{\frac{EP}{Mr}}}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a}\right)^2}}\right]}{EP} \right]$$

Ecuación N° 21

Donde:

d_0 = Deflexión en el punto de carga máxima, en pulgadas, ajustada a la temperatura

P = Presión de inflado (psi)

En los casos de estudio se variaron los valores de “ d_r ” y se iteraron diferentes valores de radio efectivo hasta lograr la igualdad de la Ecuación N° 19.

Finalmente, el número estructural efectivo del pavimento puede ser relacionado con el espesor del pavimento y el módulo de elasticidad efectivo de las capas del pavimento sobre la subrasante mediante la Ecuación N° 22 (Corros B., Urbáez P., & Corredor M., 2009).

$$S_{Neff} = 0.0045D \sqrt[3]{EP}$$

Ecuación N° 22

3.3.5. Deflexión admisible

La deflexión admisible es la deflexión máxima que debe tener un pavimento para considerarse en buen estado estructuralmente y se determina en base a número de ejes equivalentes ESAL que transcurrirá por la vía en su periodo de diseño.

3.3.5.1. Cálculo del ESAL

Con la finalidad de obtener las deflexiones admisibles es necesario calcular el número cargas de ejes equivalentes simples (ESAL) que la vía tendrá en su periodo de diseño. Estos ejes se refieren a ejes tipo de 80 kN o 18 kips que producirán el mismo tipo de daño que lo haría toda la composición del tránsito en la carretera.



Los ejes equivalentes se calculan con la Ecuación N° 23.

$$ESAL_i = TPDA_i * fd * G_{rt} * F_{ci} * 365$$

Ecuación N° 23

Donde:

$ESAL_i$ = Número de ejes equivalentes del camión de categoría i

$TPDA_i$ = Tráfico promedio anual del camión de categoría i

fd = Factor de carril de diseño

G_{rt} = Factor de crecimiento total para un periodo de diseño t

F_{ci} = Factor de camión

El ESAL total de la carretera, es entonces la suma de los ESAL para cada tipo de camión como se muestra en la Ecuación N° 24.

$$ESAL = \sum ESAL_i$$

Ecuación N° 24

El factor de crecimiento de los vehículos se calcula con la Ecuación N° 25.

$$G_{rt} = \frac{(1 + r)^t - 1}{r}$$

Ecuación N° 25

Donde:

r = Tasa de crecimiento

t = Periodo de diseño de la carretera (años)

En lo que respecta al factor de camión, este es la suma de los factores de carga equivalentes de cada eje (EALF) para cada tipo de camión a considerar. Para lo cual se utilizan las siguientes ecuaciones para hallar el factor mencionado:

$$F_c = \sum EALF_x$$

Ecuación N° 26

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{18}}\right) = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(L_x + L_2) + 4.33 \log(L_2) + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}$$

Ecuación N° 27

Donde:

W_{tx} = Número de aplicaciones de carga del eje x del vehículo en un periodo de tiempo t

W_{18} = Número de aplicaciones de carga de un eje simple de 18000 lb en un periodo de tiempo t

L_x = Carga en el eje x (kip)

L_2 = Código de tipo de eje (1 para eje simple, 2 para eje tándem o 3 para eje tridem)

G_t = Factor en función del índice de serviciabilidad final de la carretera, (Ecuación N° 28)



β_x = Factor en función del número estructural, (Ecuación N° 29)

β_{18} = Valor de β_x cuando L_x es igual a 18 y L_2 es igual a 1.

$$G_t = \log \left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5} \right)$$

Ecuación N° 28

Con:

P_t = Índice de serviciabilidad final

$$\beta_x = 0.4 + \frac{0.081(L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}}$$

Ecuación N° 29

Donde:

SN = Número estructural del pavimento

$$EALF = \frac{W_{18}}{W_{tx}}$$

Ecuación N° 30

3.3.5.2. Cálculo de la deflexión admisible

En este caso el valor admisible se calcula con ecuaciones de varios autores los cuales se presentan a continuación: (Higuera Sandoval, Leyes de comportamiento de la deflexión admisible en pavimentos flexibles, 2007)

Ecuación según Yang H. Huang.

$$D_{adm} = 26.32202 * N^{-0.2438}$$

Ecuación N° 31

Ecuación según Instituto del Asfalto.

$$D_{adm} = 25.64 * N^{-0.2383}$$

Ecuación N° 32

Ecuación según AASHTO.

$$D_{adm} = 64.2555 * N^{-0.3077}$$

Ecuación N° 33

Ecuación según C. Ruiz.

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{\frac{N}{1000000}} \right)^{0.25}$$

Ecuación N° 34

Donde:

D_{adm} = deflexión admisible, mm

N = Número de ejes equivalentes (ESAL)

Los valores de deflexión admisible calculados para las carreteras en estudio se presentan en la sección 4.3.3 correspondiente al capítulo de resultados.



3.3.6. Área del cuenco de deflexión

Este parámetro fue desarrollado por Hoffman como parte de su tesis de maestría en el Instituto Tecnológico de Israel mientras trabajaba en su doctorado en la Universidad de Illinois con el profesor M. Thompson, y fue incorporado en el método de la AASHTO en 1981. El área representa la rigidez relativa entre las capas del pavimento y su soporte (subrasante) y se determina por medio de la siguiente ecuación (Higuera Sandoval, Caracterización de los cuencos de deflexión en estructuras de pavimentos flexibles, 2009).

$$AREA = \frac{150(D_0 + 2D_1 + 2D_2 + D_3)}{D_0}$$

Ecuación N° 35

Donde:

AREA = Parámetro Área calculado a partir de las deflexiones.

D_0 = Deflexión en el eje de carga del sistema a un $r = 0$ cm, mm

D_1 = Deflexión 30 cm con respecto al eje de carga del sistema ($r = 30$ cm), mm

D_2 = Deflexión 60 cm con respecto al eje de carga del sistema ($r = 60$ cm), mm

D_3 = Deflexión 90 cm con respecto al eje de carga del sistema ($r = 90$ cm), mm

El valor máximo del Área es 900 y se presenta cuando las cuatro medidas de deflexión son iguales situación que corresponde a un pavimento extremadamente rígido, caso que nunca sucede en la práctica. El valor mínimo posible es de 278, que ocurre cuando el pavimento tiene la misma rigidez de la subrasante.

Se presenta en la siguiente tabla valores del parámetro AREA para distintas condiciones de generales de los pavimentos asfálticos.

Tabla N° 53. Rango de valores del parámetro AREA (Higuera Sandoval, Caracterización de los cuencos de deflexión en estructuras de pavimentos flexibles, 2009).

Estructura de pavimento	AREA
Pavimento con capas asfálticas gruesas (10 cm o más)	525 - 750
Pavimentos con capas asfálticas delgadas (<10 cm)	400 - 525
Pavimentos con tratamiento superficiales	375 - 425
Pavimentos débiles con tratamientos superficiales	300 - 375



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Comparación entre la normativa vigente en el Ecuador con las encontradas en otros países

Para una breve comparación se ha realizado una recopilación de algunos requisitos provista de las diferentes normativas consideradas en el capítulo 3, como resultado se ha obtenido la Tabla N° 54.

En el caso de las normativas, como se distingue en la Tabla N° 54, la mayor parte de las condiciones están enfocadas en la granulometría y los límites de Atterberg del suelo a estabilizar. Las únicas normativas que no restringen el uso de bases granulares para su estabilización con emulsión asfáltica son la mexicana y la colombiana; siendo la colombiana la única que lo expresa explícitamente y además recomienda el uso de esta metodología para carreteras de bajo tránsito.

En lo que se refiere a la granulometría del material; la más estricta, de acuerdo a esto es la normativa mexicana en el caso de las bases negras, al requerir un porcentaje que pasa el tamiz #200 del 10 al 15 %. Hay que tomar en cuenta que las bases negras son material con alto porcentaje de emulsión, como se trató en el Capítulo 3. Entonces esto significa que porcentajes muy altos de emulsión no son recomendados para suelos con alta cantidad de finos.

Mientras tanto, si se identifican los requisitos para límites de Atterberg se puede notar que los valores más altos permitidos para la estabilización se encuentran en la normativa venezolana; aceptando valores tan altos como 40 de límite líquido y 18 de índice de plasticidad. En cambio, los valores más estrictos para estos valores se muestran en la normativa peruana.

Existen de igual manera dos normativas que requieren la capacidad CBR del material, siendo la colombiana de 15 % y la mexicana de 50 %, la diferencia entre ambas es que en la colombiana se conforma una capa de base, mientras que la mexicana prevé que esta capa sea usada como superficie de rodadura, de ahí se presume la diferencia drástica en los valores.



Tabla N° 54. Comparación entre normativas vigentes en diferentes países (Normativas revisadas).

País	Nombre Normativa	Destino del material	Requisitos del material granular						Requisitos de la mezcla estabilizada		
			% pasa tamiz N° 4	% pasa tamiz N° 200	Limite líquido (máx.)	Índice de plasticidad (máx.)	CBR	Equivalentes de arena	Estabilidad (lb)	Flujo (pulg)	Porcentaje de vacíos
Ecuador	MOP-001-F-2002	Superficie de rodadura	>50	10-50	35	9	-	-	750	0.05-0.18	-
Colombia	INVIAS-2013	Base de Suelo-emulsión	<100	5-25	-	7	15	20-40	-	-	-
México	NIT-SCT	Revestimiento	-	-	30	15	50	30	-	-	-
		Construcción de base	30-67 No restrictivo	0-10 No restrictivo	-	-	-	-	-	-	-
		Base negra	34-100	10-15	30	6	-	40	990	0.08-0.18	3-8
Perú	MTC/14, 2014	No especificado		<20	20	10	-	-	-	-	-
Venezuela	COVENIN, 2000	Base o subbase	50-100	10-50	40	18			>1000		



En la red vial de la provincia del Azuay, y siendo más específicos, en las carreteras de estudio se cuentan con suelos de características similares a las expuestas en la Tabla N° 36, Tabla N° 37, Tabla N° 38; esto es, granulometría con un porcentaje pasando el tamiz #4 del 60 % y 20 % el tamiz #200; índices de plasticidad de 11.7 y límites líquidos de 31.7. Entonces, de acuerdo a la tabla de normativas de esta sección, se puede determinar claramente que los valores más aproximados se encuentran en la normativa venezolana, de los cuales cumple todos los requisitos exigidos para poder ser considerado como material apto para la estabilización con emulsión asfáltica. En la Tabla N° 55 se puede encontrar una representación detallada de los resultados para el cumplimiento de las capas de grava-arcilla típicamente encontradas en las carreteras terciarias del Azuay (descritas en la sección 3.1.3), y de su cumplimiento con las respectivas normativas consultadas:

Tabla N° 55. Cumplimiento del suelo típico de la zona de estudio con diferentes normativas.

País	Destino del material	Cumplimiento				
		% pasa tamiz N° 4	% pasa tamiz N° 200	Límite líquido	Índice de plasticidad	CBR
Ecuador	Superficie de rodadura	NO	SI	SI	NO	-
Colombia	Base de Suelo-emulsión	SI	SI	-	NO	SI
México	Revestimiento	-	-	NO	SI	NO
	Construcción de base	SI	NO (El recomendable)	-	-	-
	Base negra	SI	NO	NO	NO	-
Perú	No especificado	-	SI	NO	NO	-
Venezuela	Base o subbase	SI	SI	SI	SI	-

Se puede observar que los problemas del suelo grava-arcilla se manifiestan en los límites líquidos y en el índice de plasticidad del suelo, al este contener una parte importante de material arcilloso es un material plástico, el cual al ser estabilizado con emulsión tiene un comportamiento más difícil de predecir (Fernández Loaiza, 1982). Sin embargo, aunque no cumple con los requisitos indicados, el material de grava-arcilla no se encuentra muy por encima de los valores límites; por lo que la estabilización podría de igual manera resultar efectiva.

En lo que respecta al Ecuador, es interesante notar que existe un artículo en la normativa, que regula el uso de suelo-cemento; sin embargo, no existe uno que regule el uso de suelo-emulsión. Aprovechando este artículo, como se puede observar en la Tabla N° 56; se comparó si las propiedades del suelo con respecto a las necesarias para un suelo destinado para base-cemento



eran satisfechas, lo cual no se cumplió. Entonces ya sea para estabilización con cemento o emulsión el material debería mezclarse con algún otro para cumplir las normativas.

Tabla N° 56. Cumplimiento del suelo para una base suelo-cemento.

	Material para base suelo-cemento	Material de grava-arcilla	Cumplimiento
% que pasa el tamiz 3”	100	100	SI
% que pasa el tamiz ¾”	60-100	95	SI
% que pasa el tamiz #10	30-70	26	NO
% que pasa el tamiz #200	5-25	18	SI

Finalmente, en las características de la mezcla suelo-emulsión se puede apreciar que los requerimientos formales de dicha mezcla son usualmente dejados a criterio de los diseños para cada caso, y que un fiscalizador debe aprobar el mismo en base a criterios que justifiquen su uso en cada caso. Para los casos en los que sí especifican requisitos se toman como referencias valores correspondientes a ensayos Marshall para el diseño de la mezcla.

4.2. Desempeño funcional de las vías Ricaurte-Llacao y Monay-El Despacho-El Valle

4.2.1. Estado funcional actual del pavimento

Los porcentajes de desempeño según el índice de condición del pavimento (PCI) demuestra el estado superficial del pavimento, el cual brinda una perspectiva rápida sobre el estado de la carretera. Según los ensayos realizados en la carretera Ricaurte-Llacao arrojaron un valor PCI de 42 el cual corresponde a un estado “Regular” de la carretera, el cual está en el rango de 40-55 según la Tabla N° 8. Para la vía Monay-El Despacho-El Valle da como resultado un valor de PCI de 56 que corresponde a un estado “Bueno”, el cual está en el rango de 55-70 según la Tabla N° 8. En el transcurso de los ensayos se pudo observar la presencia de intervención humana en la estructura del pavimento debido a la construcción de obras de servicio de alcantarillado y agua potable, los cuales producen fallas y afectaron al índice de condición del pavimento que se tendría en condiciones normales. Por ende, se optó por diferenciar el PCI; obteniéndose un PCI presente en la vía y un PCI real sin daños particulares. Los resultados se pueden apreciar en las siguientes tablas. Se pasó de tener un PCI de 42 a 48 para la vía Ricaurte-Llacao y de 56 a 60 para la vía Monay-El Despacho-El Valle.



Tabla N° 57. Resultado del desempeño funcional método PCI de la vía Ricaurte-Llacao.

Muestra	Abscisa inicial	Abscisa final	Área de la sección (m ²)	PCI Presentado en la vía	Clasificación	PCI Real, sin daños particulares/ deterioro normal	Clasificación
1	0+000	0+040	224	56	Bueno	56	Bueno
22	0+040	0+080	236	66	Bueno	66	Bueno
2	0+080	0+120	254	94	Excelente	94	Excelente
3	0+160	0+200	244	21	Muy pobre	21	Muy pobre
23	0+200	0+240	224	30	Pobre	30	Pobre
4	0+240	0+280	234	30	Pobre	74	Muy bueno
5	0+320	0+360	280	31	Pobre	51	Regular
24	0+360	0+400	272	46	Regular	46	Regular
6	0+400	0+440	236	53	Regular	56	Bueno
7	0+480	0+520	250	10	Fallado	10	Fallado
25	0+520	0+560	260	41	Regular	41	Regular
8	0+560	0+600	272	24	Muy pobre	24	Muy pobre
9	0+640	0+680	238	47	Regular	47	Regular
26	0+680	0+720	246	28	Pobre	54	Regular
10	0+720	0+760	260	9	Fallado	58	Bueno
11	0+800	0+840	226	88	Excelente	88	Excelente
27	0+840	0+880	222	36	Pobre	36	Pobre
12	0+880	0+920	222	48	Regular	50	Regular
13	0+960	1+000	242	18	Muy pobre	18	Muy pobre
28	1+000	1+040	230	15	Muy pobre	15	Muy pobre
14	1+040	1+080	224	55	Regular	69	Bueno
15	1+120	1+160	226	72	Muy bueno	72	Muy bueno
29	1+160	1+200	234	40	Pobre	40	Pobre
16	1+200	1+240	256	74	Muy bueno	74	Muy bueno
17	1+280	1+320	266	31	Pobre	39	Pobre
30	1+320	1+360	262	53	Regular	62	Bueno
18	1+360	1+400	248	21	Muy pobre	21	Muy pobre
19	1+440	1+480	254	51	Regular	51	Regular
31	1+480	1+520	254	48	Regular	50	Regular
20	1+520	1+560	246	20	Muy pobre	20	Muy pobre
21	1+600	1+640	258	64	Bueno	64	Bueno

PCI	42
Clasificación	Regular
Desviación estándar %	21.97
Error %	3.95

48
Regular
21.65
3.89



Tabla N° 58. Resultados del desempeño funcional método PCI de la vía Monay-El Valle.

Muestra	Abscisa inicial	Abscisa final	Área de la sección (m ²)	PCI presente en la vía	Clasificación	PCI real, sin daño particular/daño normal	Clasificación
1	0+000	0+030	228	16	Muy pobre	16	Muy pobre
2	0+060	0+090	201	50	Regular	50	Regular
3	0+120	0+150	201	71	Muy bueno	71	Muy bueno
4	0+180	0+210	195	77	Muy bueno	77	Muy bueno
5	0+240	0+270	211.5	56	Bueno	56	Bueno
6	0+300	0+330	195	68	Bueno	68	Bueno
7	0+360	0+390	240	59	Bueno	59	Bueno
8	0+420	0+450	225	66	Bueno	66	Bueno
9	0+480	0+510	232.5	60	Bueno	60	Bueno
10	0+540	0+570	210	56	Bueno	77	Muy bueno
11	0+600	0+630	222	25	Muy pobre	59	Bueno
12	0+660	0+690	211.5	82	Muy bueno	82	Muy bueno
13	0+720	0+750	184.5	75	Muy bueno	75	Muy bueno
14	0+780	0+810	211.5	74	Muy bueno	74	Muy bueno
15	0+840	0+870	216	75	Muy bueno	75	Muy bueno
16	0+900	0+930	201	22	Muy pobre	68	Bueno
17	0+960	0+990	240	64	Bueno	64	Bueno
18	1+020	1+050	202.5	58	Bueno	58	Bueno
19	1+080	1+110	208.5	43	Regular	43	Regular
20	1+140	1+170	232.5	75	Muy bueno	75	Muy bueno
21	1+200	1+230	243	62	Bueno	62	Bueno
22	1+260	1+290	232.5	78	Muy bueno	78	Muy bueno
23	1+320	1+350	277.5	39	Pobre	54	Regular
24	1+380	1+410	222	42	Regular	42	Regular
25	1+440	1+470	214.5	61	Bueno	61	Bueno
26	1+500	1+530	187.5	54	Regular	54	Regular
27	1+560	1+590	222	48	Regular	66	Bueno
28	1+620	1+650	213	55	Regular	55	Regular
29	1+680	1+710	187.5	26	Pobre	49	Regular
30	1+740	1+770	208.5	64	Bueno	64	Bueno
31	1+800	1+830	223.5	58	Bueno	58	Bueno
32	1+860	1+890	244.5	17	Muy pobre	17	Muy pobre
33	1+920	1+950	240	64	Bueno	64	Bueno
34	1+980	2+010	213	43	Regular	70	Bueno
35	2+040	2+070	264	15	Muy pobre	61	Bueno
39	2+280	2+310	226.5	62	Bueno	62	Bueno
40	2+340	2+370	225	76	Muy bueno	76	Muy bueno
41	2+400	2+430	222	58	Bueno	58	Bueno



42	2+460	2+490	229.5	80	Muy bueno	80	Muy bueno
43	2+520	2+550	223.5	61	Bueno	61	Bueno
44	2+580	2+610	210	56	Bueno	56	Bueno
45	2+640	2+670	246	54	Regular	54	Regular
46	2+700	2+730	217.5	53	Regular	53	Regular
47	2+760	2+790	210	36	Pobre	36	Pobre
48	2+820	2+850	249	47	Regular	47	Regular
49	2+880	2+910	183	65	Bueno	66	Bueno
50	2+940	2+970	219	67	Bueno	72	Muy bueno
51	3+000	3+030	208.5	63	Bueno	63	Bueno
52	3+060	3+090	125.58	64	Bueno	64	Bueno

PCI	56
Clasificación	Bueno
Desviación estándar %	17.30
Error %	3.38

60
Bueno
13.84
2.70

4.2.2. Fallas más comunes y sus causas.

Las fallas más comunes en las carreteras en estudio demuestran el tipo de desempeño y las causas principales del deterioro del pavimento, en la Tabla N° 59 se presentan todas las fallas registradas según su cantidad en m² con respecto al área total de la carretera.

Tabla N° 59. Fallas más comunes de la carretera Ricaurte-Llacao.

Carretera Ricaurte - Llacao		Área total (m ²)	7600
Falla	Cantidad (m²)	Porcentaje fallas (%)	Porcentaje respecto área total de la carretera (%)
Piel de cocodrilo	31.02	1.28	0.41
Exudación	110.01	4.54	1.45
Abultamiento/hundimiento	62.775	2.59	0.83
Corrugación	81.24	3.35	1.07
Depresión	0	0.00	0.00
Grietas de borde	104.5	4.31	1.38
Grieta longitudinal/transversal	25.2	1.04	0.33
Parcheo	3.25	0.13	0.04
Baches	168	6.93	2.21
Ahuellamiento	180.935	7.47	2.38
Hinchamiento	0	0.00	0.00
Desprendimiento de agregados	1656.48	68.35	21.80
Total	2423.41	100	31.89



La falla más común en la carretera Ricaurte-Llacao es la de desprendimiento de agregados con un 21.80 % la cual se debe más por el tipo de carpeta asfáltica (doble tratamiento bituminoso) colocada sobre la carretera, se considera una falla superficial del pavimento. Con un 2.38 % el ahuellamiento, su causa principal se debe al tráfico, en consecuencia, se debe recalcar que el tráfico de diseño para este tipo de vías es de tráfico liviano y bajo, lo contrarresta con lo observado durante los estudios que transcurrían vehículos pesados como: camiones, volquetas y buses, de igual forma el espesor y tipo de superficie de rodadura que se colocó no son aptas para el tipo de tráfico actual. Los baches con 2.21 % causado básicamente por el tráfico abrasivo, por mezclas pobres.

Tabla N° 60. Fallas más comunes de la carretera Monay-El Valle.

Carretera Monay - El Despacho - El Valle		Área total (m ²)	11266.08
Falla	Cantidad (m²)	Porcentaje en fallas (%)	Porcentaje respecto área total de la carretera (%)
Piel de cocodrilo	54.85	1.9	0.5
Exudación	523.18	18.5	4.6
Abultamiento/hundimiento	26.83	1.0	0.2
Corrugación	362.78	12.9	3.2
Depresión	375.06	13.3	3.3
Grietas de borde	159.4	5.6	1.4
Grieta longitudinal/transversal	16.1	0.6	0.1
Parcheo	5.4	0.2	0.0
Baches	53	1.9	0.5
Ahuellamiento	911.18	32.3	8.1
Hinchamiento	26.64	0.9	0.2
Desprendimiento de agregados	307.06	10.9	2.7
Total	2821.48	100	25.0

La falla más común en la carretera Monay-El despacho-El Valle es Ahuellamiento con 8.1 % la cual es causada principalmente por el exagerado incremento en las cargas de tráfico, fallas en las mezclas asfálticas, se debe recalcar que el tráfico de diseño para este tipo de carreteras en estudio es de tráfico liviano y bajo, de igual forma que en la otra carretera de estudio durante los estudios en campo se pudo constatar que circulaban vehículos pesados con una frecuencia considerable, de igual forma el espesor y tipo de superficie de rodadura que se colocó no son aptas para el tipo de tráfico actual. La exudación con un 4.6 % se debe a una falla superficial en la capa de rodadura, como son exceso de cemento asfáltico, excesiva sello o imprimación bituminosa o

caída de aceite o residuos de combustible, este tipo de falla no es causada por la capa estabilizada que en este documento es caso de estudio. La depresión con 3.3 % esta falle es causada por asentamiento de la subrasante, se debe recalcar que las depresiones registradas en campo no son causadas por la estructura del pavimento, si no se debe a deslizamientos externos.

4.2.3. Predicción de deterioro del PCI

Los modelos de deterioro se han aplicado en las carreteras de estudio con los datos obtenidos mediante la medición del PCI en las mismas.

Mediante el uso del modelo de deterioro para un nivel de incertidumbre del 99 % se tiene la Figura N° 34. Es importante enfatizar que debido a que solo se toma en cuenta los años de servicio de la carretera, se tiene una única gráfica para ambas carreteras de estudio.

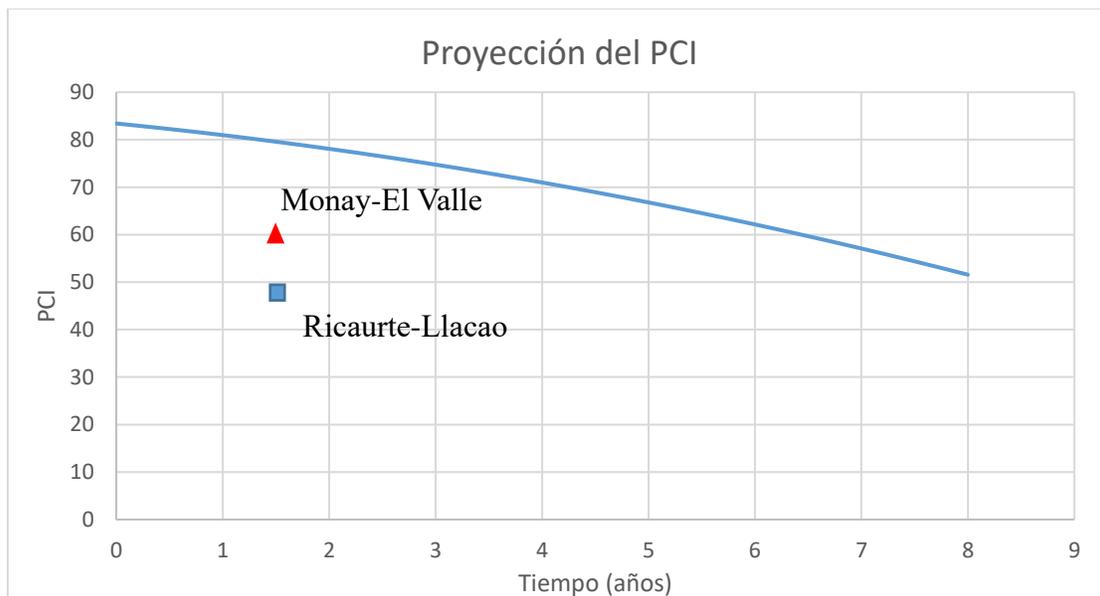


Figura N° 34. Curva de desempeño del PCI según el modelo de Costa Rica (Picado Muñoz, 2016).

Esta curva de deterioro no se asemeja a los datos recolectados en campo, ya que al año y medio según la Figura N° 35 se tiene que para el año y medio de vida de la carretera se tiene un PCI de 79 aproximadamente, contrastando con el 48 de la Ricaurte-Llacao y 60 de la Monay-El Valle medidos en campo.

Por otra parte, según el artículo citado (Picado Muñoz, 2016), se tiene que, si la estructura del pavimento es insuficiente, la curva de deterioro se asemeja a la mostrada en la Figura N° 35.

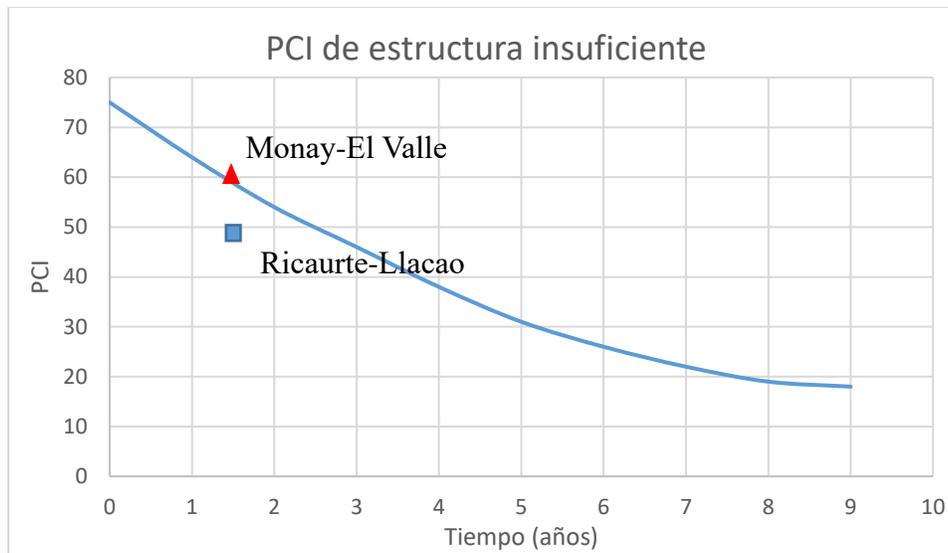


Figura N° 35. Curva de desempeño de una estructura insuficiente (Picado Muñoz, 2016).

De acuerdo a que según la Figura N° 34 las carreteras de estudio no cumplen con las exigencias necesarias según el tráfico solicitado en estos lugares; aunque cabe resaltar que en la carretera Ricaurte-Llacao como se comentó en la sección anterior (4.2.2), sus fallas más frecuentes son causadas por el deterioro de la capa de rodadura y no por la estructura que existe debajo de esta ya que se trata de una capa de doble tratamiento bituminoso el cual no ha respondido a las exigencias previstas. En el caso de la carretera Monay-El Valle, sí existen problemas que se puedan atribuir a fallas en la capa de base; sin embargo, igualmente como se comentó en la sección anterior (4.2.2), y según lo que se observará en la sección (4.3.2) en la que se demostrará que la capacidad estructural de la carretera Monay-El Valle es mayor que la Ricaurte-Llacao, se puede inferir que el tráfico que recibe la carretera de Monay es superior al de una carretera terciaria, en especial vehículos pesados y esto es lo que provoca el deterioro tan prematuro del pavimento en los ensayos del PCI; esto se pudo constatar en el momento de realizar las mediciones en campo.

4.3. Desempeño estructural de las vías Ricaurte-Llacao y Monay-El Despacho-El Valle

4.3.1. Condición estructural actual

Con las deflexiones calculadas se observó que la deflexión máxima es de 1.16 mm, la deflexión promedio de 0.71 mm y la deflexión característica que representa al pavimento es 1.31 mm para la vía Ricaurte-Llacao como se puede apreciar en la en las Tabla N° 61.



Tabla N° 61. Deflexiones máximas de la vía Ricaurte – Llacao.

Estación	Abscisa	Temperatura (°C)	Deflexión máxima (mm)
Carril derecho sentido Llacao-Ricaurte			
1	0+100	21	0.50
2	0+300	20	0.86
3	0+500	20	1.16
4	0+700	19	0.33
5	0+900	18.5	0.63
6	1+100	20	0.75
7	1+300	20	0.97
8	1+500	20	0.90
Carril izquierdo sentido Llacao-Ricaurte			
9	1+600	17	0.39
10	1+400	17	0.73
11	1+200	18	0.73
12	1+000	20	0.11
13	0+800	20	1.07
14	0+600	20	1.05
15	0+400	22	0.64
16	0+200	22	0.54
Deflexión promedio [Dm]			0.71
Desviación estándar [σ]			0.29
Deflexión característica [Dc]			1.31

En la vía Monay-El Despacho-El Valle la deflexión máxima es de 1.14 mm, deflexión promedio de 0.57 mm y deflexión característica de 1.213 mm como se puede apreciar en el resumen de los ensayos de deflexiones en la Tabla N° 62.

Tabla N° 62. Deflexiones máximas de la vía Monay – El Despacho – El Valle.

Estación	Abscisa	Temperatura (°C)	Deflexión máxima (mm)
Carril derecho sentido El Valle - Monay			
1	0+150	17.5	1.12
2	0+450	17.5	1.14
3	0+750	17.5	1.07
4	1+050	17	0.35
5	1+350	17	1.03
6	1+650	17	0.70
7	1+950	16.5	0.33



8	2+250	16	0.20
9	2+550	16	0.54
10	2+850	16	0.60
Carril izquierdo sentido El Valle - Monay			
11	3+000	17	0.82
12	2+700	17	0.26
13	2+400	18	0.28
14	2+100	18	0.35
15	1+800	19	0.43
16	1+500	19	0.31
17	1+200	18	0.45
18	0+900	18	0.28
19	0+600	18	0.69
20	0+300	18	0.54
Deflexión promedio [Dm]			0.57
Desviación estándar [σ]			0.31
Deflexión característica [Dc]			1.213

Como se muestra en las tablas, la desviación estándar para ambas carreteras resultó de manera similar; siendo en la carretera Ricaurte-Llacao de 0.29 mm, y en la carretera Monay El Valle de 0.31 mm. Los valores máximos de deflexión en la carretera Ricaurte-Llacao son 1.16, mientras que en la Monay-El Valle son de 1.1. Las deflexiones tanto características, promedio, máximas y mínimas son mayores en la carretera Ricaurte-Llacao. Esto se puede atribuir al espesor de las capas, ya que el espesor de la capa estabilizada es 5 cm mayor en la carretera Monay-El Valle.

Todos los valores de deflexión transformados de resultados de Viga Benkelman a Deflectómetro de impacto (FWD) para cada estación de ambas carreteras se puede apreciar en el anexo 6. Mientras que las gráficas de los cuencos de deflexión para las distintas estaciones de las carreteras estudiadas se presentan en el Anexo 7 para su mejor apreciación.

4.3.2. Capacidad estructural

Tomando en cuenta todas las consideraciones anteriormente mostradas en la sección 3.3.4, y para efectos de comparación; se determinaron los números estructurales teóricos para los casos hipotéticos con una base granular convencional y los números estructurales reales de las vías de estudio, calculados mediante deflectometría, y cuyo material es grava-arcilla estabilizado con emulsión asfáltica.



4.3.2.1. Números estructurales teóricos para bases granulares

Para el caso de estudio se tiene un pavimento hipotético cuya capa de rodadura es un doble tratamiento bituminoso, debajo de esta se encuentra una capa de base granular; y a su vez, debajo de la capa de base se encuentra material de grava-arcilla sin estabilizar. Para esto se tienen las siguientes características de los materiales y sus espesores en la Tabla N° 61 para la carretera Ricaurte-Llacao y en la Tabla N° 62 para la Monay-El Valle. El dato de CBR de la base granular fue asumido de acuerdo a lo extraído en la norma MOP-001-F-2002, en la cual se indica que las bases granulares deben tener un CBR mínimo de 80 %.

Tabla N° 63. Datos para obtener el número estructural de la carretera Ricaurte-Llacao, informes Prefectura del Azuay (García Valencia, 2020).

Capa	Espesor (cm)	CBR (%)
Capa de rodadura (Doble tratamiento bituminoso)	2	-
Capa de base granular	10	80

Tabla N° 64. Datos para obtener el número estructural de la carretera Monay-El Valle, informes Prefectura del Azuay (García Valencia, 2020).

Capa	Espesor (cm)	CBR (%)
Capa de rodadura (Doble tratamiento bituminoso)	2	-
Capa de base granular	15	80

Entonces se tiene que el número estructural para una carretera en la que se ha remplazado la capa estabilizada por una de base, una vez calculados los respectivos coeficientes estructurales y de drenaje, sería el mostrado en la Tabla N° 65 para la Ricaurte-Llacao; y para la carretera Monay-El Valle sería el presentando en la Tabla N° 66. Para el coeficiente estructural de la capa de rodadura, al no tener datos de módulo se tomó como referencia un manual de diseño de pavimentos asfálticos (INVIAS, 1998), en el que para mezclas en frío entre 13°C y 20°C es de 0.3. Para determinar el coeficiente de drenaje se asumió que las condiciones de drenaje son excelentes, y que la capa llega un 5 % del tiempo cerca a la saturación, esto da como resultado un coeficiente de 1.3 se proporcionaron condiciones más favorables para el caso hipotético, otorgando cierto factor de seguridad en la comparación con el campo.



Tabla N° 65. Número estructural de la carretera Ricaurte-Llacao con base granular.

Capa	Espesor [D] (cm)	Espesor [D] (pulg)	Coefficiente Estruct. [a]	Coefficiente Drenaje [m]	Número estructural de la capa [SN]
Capa de rodadura (Doble tratamiento bituminoso)	2	0.78	0.3	-	0.23
Capa de base granular	10	3.94	0.135	1.3	0.7
				SN _{Total}	0.93

Tabla N° 66. Número estructural de la carretera Monay-El Valle con base granular.

Capa	Espesor [D] (cm)	Espesor [D] (pulg)	Coefficiente Estruct. [a]	Coefficiente Drenaje [m]	Número estructural de la capa [SN]
Capa de rodadura (Doble tratamiento bituminoso)	2	0.78	0.3	-	0.23
Capa de base granular	15	5.90	0.135	1.3	1.03
				SN _{Total}	1.26

4.3.2.2. Números estructurales en campo calculados con resultados de deflectometría

Tomando en cuenta todas las consideraciones anteriormente mostradas en la sección 3.3.4; se procedió a calcular el desempeño iterando valores para cada medición de deflexiones, a las distancias obtenidas en el ensayo.

En lo que respecta al valor del coeficiente “C”, se realizó la consideración descrita a continuación. Al tomar el espesor de pavimento únicamente como las capas estabilizadas y de doble tratamiento, se obtiene el módulo resiliente de la capa inferior a estas, es decir, la capa de grava-arcilla sin tratar. Convenientemente, el valor del módulo resiliente de la capa de grava-arcilla sin tratar es un dato conocido, como ya se expuso en la sección 3.1.3. Por lo tanto, el valor de módulo resiliente obtenido en campo se debería ajustar al que se tiene a partir de datos de laboratorio. Este ajuste da como resultado un valor de “C” igual a 1, esto se comprobará más adelante en esta sección.

a) Carretera Ricaurte-Llacao

El proceso de iteración se lo realizó como se muestra en la Tabla N° 67 y Tabla N° 68.



Tabla N° 67. Iteración del Mr y SN efectivo de la carretera Ricaurte-Llacao, con un r=25cm.

	R25 (pulg)	Carga (lb)	P (psi)	a (pulg)	D (pulg)	C	
	9.842	9000	82.3	5.9	4.724	1	
Estación	d0 (pulg)	dr (pulg)	Mr*C (psi)	r min (pulg)	r>rmin	EP (psi)	SNeff
1	0,020	0,013	16566	9,57	bien	290517	1,4
2	0,034	0,028	8046	11,62	mal	282716	1,4
3	0,046	0,022	10058	7,29	bien	58536	0,8
4	0,013	0,011	20116	11,44	mal	668686	1,9
5	0,025	0,015	14822	8,70	bien	180840	1,2
6	0,030	0,018	12244	8,84	bien	158973	1,2
7	0,038	0,028	7823	10,76	mal	209716	1,3
8	0,036	0,023	9711	9,32	bien	154491	1,1
9	0,015	0,016	14081	13,85	mal	894281	2,0
10	0,029	0,017	12801	8,68	bien	154906	1,1
11	0,029	0,026	8534	12,80	mal	416426	1,6
12	0,004	0,002	93874	6,58	bien	336789	1,5
13	0,042	0,031	7221	10,49	mal	177330	1,2
14	0,041	0,026	8534	9,17	bien	127497	1,1
15	0,025	0,020	10832	11,27	mal	342702	1,5
16	0,021	0,020	11265	12,87	mal	560991	1,8

Tabla N° 68. Iteración del Mr y SN efectivo de la carretera Ricaurte-Llacao, con un r=50cm.

	R50 (pulg)	Carga (lb)	P (psi)	a (pulg)	D (pulg)	C	
	19.685	9000	82.3	5.9	4.724	1	
Estación	d0 (pulg)	dr (pulg)	Mr*C (psi)	r min (pulg)	r>rmin	EP (psi)	SNeff
1	0,020	0,006	17878	8,886	bien	240822	1,32
2	0,034	0,015	7548	11,948	bien	294168	1,41
3	0,046	0,016	6766	9,992	bien	140947	1,11
4	0,013	0,009	12675	18,694	bien	2124421	2,73
5	0,025	0,009	11554	10,860	bien	323720	1,46
6	0,030	0,007	15726	6,941	bien	75486	0,90
7	0,038	0,016	6766	11,831	bien	254982	1,35
8	0,036	0,010	10615	8,340	bien	111659	1,02
9	0,015	0,007	15726	12,636	bien	740575	1,92
10	0,029	0,009	12675	8,577	bien	148874	1,13
11	0,029	0,006	17878	6,439	bien	59609	0,83
12	0,004	0,0003	424876	4,448	bien	52954	0,80
13	0,042	0,014	8011	9,174	bien	121801	1,05
14	0,041	0,015	7548	9,889	bien	151451	1,13
15	0,025	0,011	9817	12,276	bien	419431	1,59
16	0,021	0,010	10615	13,506	bien	624183	1,82



Tomando los datos de las Tabla N° 67 y Tabla N° 68 conforme los valores se muestran como correctos “bien”, se elaboró la Tabla N° 69 que contiene los resultados finales del proceso de iteración.

Tabla N° 69. Resultados de Mr, EP y SN efectivo de la carretera Ricaurte-Llacao.

Punto	Mr (psi)	EP (psi)	S_{Neff}
1	17069	272051	1,38
2	7548	294168	1,41
3	9932	52561	0,80
4	12675	2124421	2,73
5	15097	167145	1,17
6	12263	145305	1,12
7	6766	254982	1,35
8	9568	145169	1,12
9	15726	740575	1,92
10	12866	141468	1,11
11	17878	59609	0,83
12	19983	104859	1,00
13	8011	121801	1,05
14	8346	119402	1,05
15	9817	419431	1,59
16	10615	624183	1,82
Promedio	12135	361696	1,34

En la carretera Ricaurte-Llacao se puede observar que el número estructural que proveería una capa base granular común es de 0.93 en el caso de la estructura del pavimento, y de 0.7 en concreto para la capa de base granular. En cambio, según las mediciones de la vía estabilizada se encontró que el número estructural efectivo promedio en la sección de estudio es de 1.34. Tomando en cuenta que el número estructural del doble tratamiento es de 0.23, esto da como resultado que el número estructural de la capa de grava-arcilla estabilizada con emulsión asfáltica cuenta con un número estructural de 1.11. Siendo la capacidad de la capa de grava-arcilla estabilizada con emulsión asfáltica mayor a una equivalente del mismo espesor de base granular no tratada. El aumento del número estructural se observa que es del 58 %.



b) Carretera Monay-El Valle

El proceso de iteración se realizó siguiendo el mismo proceso que en el caso anterior, y se lo presenta en las Tabla N° 70, Tabla N° 71 y Tabla N° 72.

Tabla N° 70. Iteración del Mr y SN efectivo de la carretera Monay-El Valle, con un r=25cm.

	R25 (pulg)	Carga (lb)	P (psi)	a (pulg)	D (pulg)	C	
	9.84	9000	82.3	5.9	6.692	1	
Estación	d0 (pulg)	dr (pulg)	Mr*C (psi)	r min (pulg)	r>rmin	EP (psi)	SNeff
1	0,044	0,042	5194	13,905	mal	118258	1,48
2	0,045	0,024	9230	8,549	bien	37651	1,01
3	0,042	0,028	7845	10,072	mal	59164	1,17
4	0,014	0,009	25349	9,748	bien	169746	1,67
5	0,041	0,032	6821	11,660	mal	86034	1,33
6	0,028	0,026	8346	13,651	mal	178840	1,70
7	0,013	0,008	28072	9,424	bien	165999	1,66
8	0,008	0,005	41424	10,398	mal	350202	2,12
9	0,021	0,016	13533	11,338	mal	154974	1,62
10	0,024	0,019	11713	11,602	mal	145226	1,58
11	0,032	0,026	8346	11,958	mal	114760	1,46
12	0,010	0,008	28072	11,435	mal	331066	2,08
13	0,011	0,008	28072	10,620	mal	255780	1,91
14	0,014	0,010	21230	11,112	mal	226763	1,84
15	0,017	0,011	19634	10,092	mal	149157	1,60
16	0,012	0,009	23107	11,769	mal	300840	2,02
17	0,018	0,013	17069	10,790	mal	164493	1,65
18	0,011	0,009	23107	12,502	mal	369396	2,16
19	0,027	0,022	9932	11,971	mal	137071	1,55
20	0,021	0,018	12263	12,302	mal	185634	1,72

Tabla N° 71. Iteración del Mr y SN efectivo de la carretera Monay-El Valle, con un r=50cm

	R50 (pulg)	Carga (lb)	P (psi)	a (pulg)	D (pulg)	C	
	19.685	9000	82.3	5.9	6.692	1	
Estación	d0 (pulg)	dr (pulg)	Mr*C (psi)	r min (pulg)	r>rmin	EP (psi)	SNeff
1	0,044	0,034	3241	21,554	mal	298487	2,01
2	0,045	0,015	7548	9,890	bien	53291	1,13
3	0,042	0,015	7136	10,871	bien	70592	1,24
4	0,014	0,005	20712	11,435	bien	244332	1,88
5	0,041	0,020	5605	13,905	bien	127636	1,52
6	0,028	0,014	8011	14,165	bien	193861	1,74
7	0,013	0,004	30329	9,009	bien	151441	1,61



8	0,008	0,004	24615	15,739	bien	838862	2,84
9	0,021	0,011	9817	15,135	bien	294828	2,00
10	0,024	0,012	9131	14,506	bien	238841	1,87
11	0,032	0,019	5856	16,431	bien	229177	1,84
12	0,010	0,005	20712	14,972	bien	600603	2,54
13	0,011	0,006	17878	15,322	bien	558724	2,48
14	0,014	0,004	24615	9,965	bien	178574	1,70
15	0,017	0,004	24615	8,416	bien	94430	1,37
16	0,012	0,007	15726	16,529	bien	627146	2,58
17	0,018	0,008	14036	12,624	bien	231809	1,85
18	0,011	0,007	15726	17,937	bien	813566	2,81
19	0,027	0,011	9817	12,154	bien	142657	1,57
20	0,021	0,013	8535	16,988	bien	371499	2,16

Tabla N° 72. Iteración del Mr y SN efectivo de la carretera Monay-El Valle, con un r=100cm.

	R100 (pulg)	Carga (lb)	P (psi)	a (pulg)	D (pulg)	C	
	39.370	9039	80	6.015	6.692	1	
Estación	d0 (pulg)	dr (pulg)	Mr*C (psi)	r min (pulg)	r>rmin	EP (psi)	SNeff
1	0,044	0,019	2928	23,727	bien	363337	2,15
2	0,045	0,004	15165	6,433	bien	17698	0,78
3	0,042	0,005	10356	8,213	bien	36052	0,99
4	0,014	0,004	15165	14,845	bien	427647	2,27
5	0,041	0,010	5307	14,572	bien	140894	1,57
6	0,028	0,004	15165	8,377	bien	57098	1,16
7	0,013	0,002	28308	9,350	bien	162528	1,64
8	0,008	0,003	19749	20,435	bien	1540035	3,48
9	0,021	0,006	8939	16,359	bien	344890	2,11
10	0,024	0,004	12307	11,099	bien	130894	1,53
11	0,032	0,007	7863	12,652	bien	130838	1,53
12	0,010	0,003	19749	15,579	bien	651179	2,61
13	0,011	0,004	12307	22,529	bien	1300681	3,29
14	0,014	0,003	19749	12,060	bien	279530	1,97
15	0,017	0,0003	212437	4,604	bien	17412	0,78
16	0,012	0,004	15165	16,755	bien	631576	2,58
17	0,018	0,004	12307	14,392	bien	313727	2,05
18	0,011	0,004	15165	18,320	bien	838862	2,84
19	0,027	0,004	15165	8,556	bien	62066	1,19
20	0,021	0,005	10356	14,367	bien	262530	1,93



Igualmente, en la Tabla N° 73 se presenta un resumen con los valores adoptados para los módulos resilientes y los números estructurales efectivos.

Tabla N° 73. Resultados de Mr, EP y SN efectivo de la carretera Monay-El Valle.

Estación	Mr (psi)	EP (psi)	S_{Neff}
1	2928	363337	2,15
2	9230	37651	1,01
3	7136	70592	1,24
4	25349	169746	1,67
5	5605	127636	1,52
6	8011	193861	1,74
7	28072	165999	1,66
8	24615	838862	2,84
9	9817	294828	2,00
10	9131	238841	1,87
11	5856	229177	1,84
12	20712	600603	2,54
13	17878	558724	2,48
14	24615	178574	1,70
15	24615	94430	1,37
16	15726	627146	2,58
17	14036	231809	1,85
18	15726	813566	2,81
19	9817	142657	1,57
20	8535	371499	2,16
Promedio	14371	317477	1,93

Se puede notar en la Tabla N° 69 que el Mr promedio de la vía Monay-El Valle tiene un valor de 14371 psi, el cual es el que más se aproxima al valor de 17300 psi correspondiente al Mr de diseño obtenido en laboratorio. En la Tabla N° 73 Tabla N° 73. Resultados de Mr, EP y SN efectivo de la carretera Monay-El Valle se observa que la carretera Ricaurte-Llacao cuenta con un valor menor de Mr, siendo de 12135 psi (CBR de 12); sin embargo, se encuentran en un rango que normalmente estarían este tipo de materiales, lo que demuestra que el uso de 1 como factor “C” es aceptable ya que si se usa un valor menor los módulos resilientes disminuirían aún más.

Respectivamente, en la situación de la carretera Monay-El Valle se presentan resultados similares; en la que la capa de grava-arcilla estabilizada con emulsión asfáltica también muestra



un mejor comportamiento estructural que una equivalente de base granular no tratada. En este caso se puede apreciar que el número estructural del pavimento en el sitio es de 1.93; mientras tanto en el caso de una base granular es de 1.26. Si se compara únicamente la capa estabilizada con la base granular se obtiene un número estructural de 1.7 para la capa de grava-arcilla estabilizada; mientras que, para la capa de base granular se tiene un número estructural de 1.03. Entonces se observa que el aumento del número estructural es del 65 %; esto considerando, al igual que en el caso de estudio anterior, que el material que se estabilizó era de menor capacidad que una base granular, siendo éste un material de grava-arcilla (lastre).

Es importante notar que el aumento en el número estructural de la capa estabilizada mayor en la vía Monay-El Valle comparado a la Ricaurte-Llacao; esperándose esto al haberse usado un porcentaje mayor de emulsión asfáltica en Monay y a que el material a estabilizar en Monay tiene un módulo resiliente mayor que el de Ricaurte.

También se pudo determinar los coeficientes estructurales a partir de los datos del número estructural de las capas estabilizadas que tienen un valor de 0.18 para la Ricaurte-Llacao y de 0.2 para la Monay-El Valle. Esto contrasta con la información encontrada en la Figura N° 36, perteneciente al Manual de Reciclado en Frío de Wirtgen. Como se observa en la Figura N° 36 para suelos A-2-6 como se tiene en estas carreteras, se puede esperar un coeficiente estructural de entre 0.15 y 0.26 para el material estabilizado con asfalto según sea su porcentaje de asfalto añadido. Por lo que los valores encontrados en campo tienen coherencia.



4.3.3. Deflexión admisible

4.3.3.1. ESALs de las carreteras de estudio

En la Tabla N° 74 se muestran los resultados para los tipos de camiones que circulan por las vías de estudio. La composición del tránsito para este tipo de vías fue obtenida del Plan vial del Azuay (Prefectura del Azuay, 2017) y el SN usado fue de 4 de acuerdo a lo obtenido en campo.

Tabla N° 74. Factor de camión para las carreteras de estudio (Prefectura del Azuay, 2017).

Tipo de vehículo	Eje	Carga (tn)	Lx (kips)	L2	Gt	Bx	B18	log(Wt/W18)	EALF	fc
Bus	Simple	4	8.8	1	-0.09	0.43	0.5	1.348	0.045	0.870
	Simple	8	17.6	1	-0.09	0.64	0.5	0.083	0.825	
Camión mediano (2DA)	Simple	3	6.6	1	-0.09	0.41	0.5	1.869	0.014	0.486
	Simple	7	15.4	1	-0.09	0.56	0.5	0.325	0.473	
Camión pesado (2DB)	Simple	7	15.4	1	-0.09	0.56	0.5	0.325	0.473	3.599
	Simple	11	24.2	1	-0.09	1.04	0.5	-0.495	3.126	
Camión articulado (3-A)	Simple	7	15.4	1	-0.09	0.56	0.5	0.325	0.473	3.353
	Tándem	20	44	2	-0.09	0.88	0.5	-0.459	2.880	
Camión ligero (2D)	Simple	3	6.6	1	-0.09	0.41	0.5	1.869	0.014	0.058
	Simple	4	8.8	1	-0.09	0.43	0.5	1.348	0.045	

Los datos para cada tipo de camión fueron extraídos de la tabla encontrada en el Anexo 8. Los ESALs calculados para ambas carreteras se muestran en la Tabla N° 75 y Tabla N° 76.

Tabla N° 75. ESAL de la carretera Ricaurte-Llacao.

	Bus	Camión mediano	Camión pesado	Camión articulado	Camión ligero	
	8.85%	2.00%	0.60%	0.02%	15.54%	
TPDA	42.9	9.7	2.9	0.1	75.4	
fc	0.87	0.49	3.60	3.35	0.06	
Grt	18.60	18.60	18.60	18.60	18.60	
fd	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
ESAL	126825	16019	35556	1104	14932	194436

Tabla N° 76. ESAL de la carretera Monay-El Valle

	Bus	Camión mediano	Camión pesado	Camión articulado	Camión ligero	
	8.85%	2.00%	0.60%	0.02%	15.54%	
TPDA	41.5	9.4	2.8	0.1	72.8	
Fc	0.87	0.49	3.60	3.35	0.06	
Grt	18.60	18.60	18.60	18.60	18.60	
Fd	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
ESAL	122517	15475	34348	1067	14424	187831

4.3.3.2. Resultados de deflexiones admisibles

En la *Tabla N° 77* se puede encontrar los valores de deflexión admisible según varios autores y en la

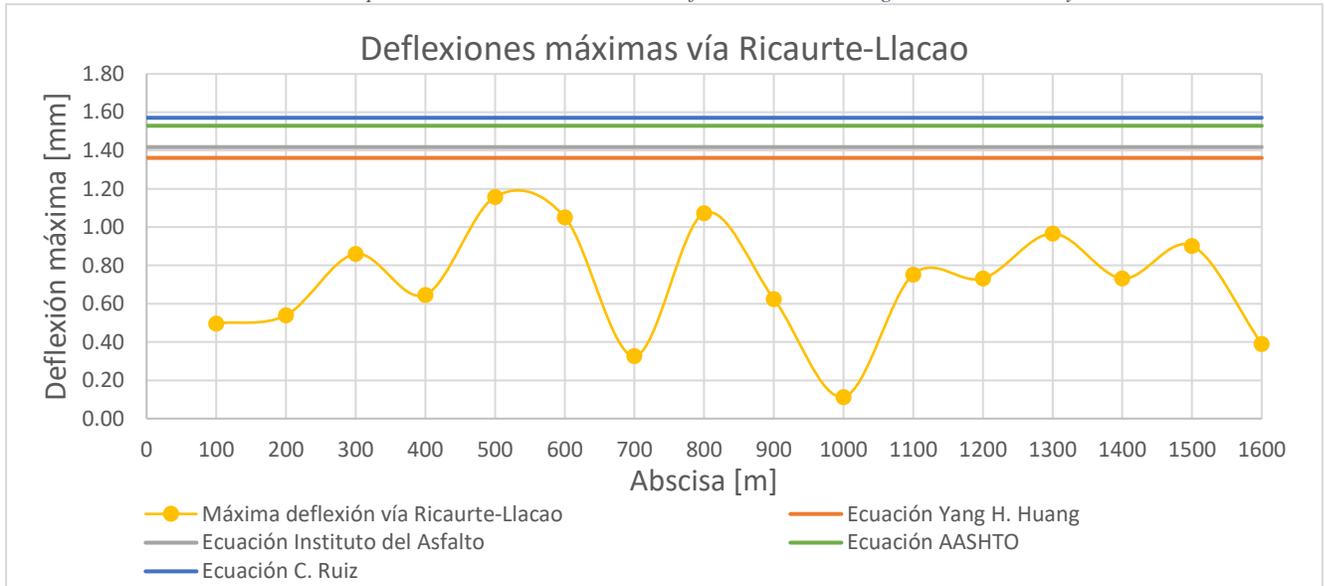


Figura N° 37 se puede apreciar una representación gráfica de los valores de deflexiones máximas de las carreteras comparadas con las deflexiones admisibles del pavimento de la carretera Ricaurte-Llacao.

Tabla N° 77. Valores de deflexión admisible de la vía Ricaurte-Llacao.

Ecuación	Deflexión admisible (mm)
Yang H. Huang	1.36
Instituto del Asfalto	1.42
AASHTO	1.53
C. Ruiz, Argentina	1.57

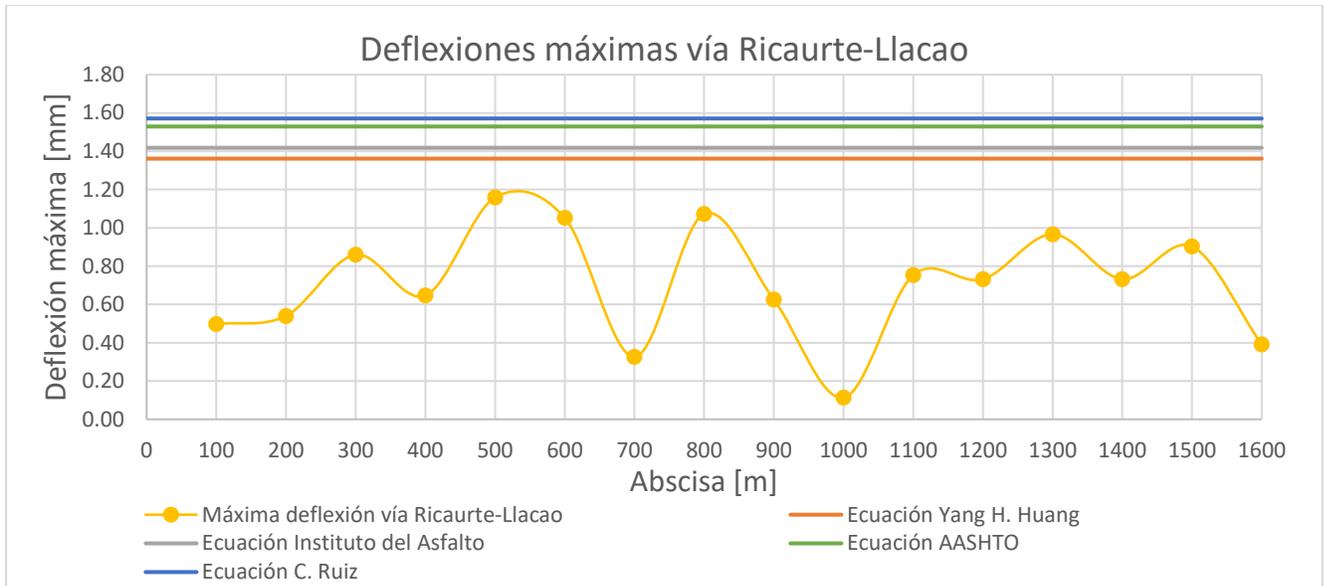


Figura N° 37. Comparación de las deflexiones máximas con la deflexión admisible de la vía Ricaurte-Llacao según varios autores.

De la misma forma para la carretera Monay-El Valle los resultados correspondientes se encuentran en la Tabla N° 78 y en la Figura N° 38 respectivamente.

Tabla N° 78. Valores de deflexión admisible de la vía Monay-El Valle.

Ecuación	Deflexión admisible (mm)
Yang H. Huang	1.37
Instituto del Asfalto	1.43
AASHTO	1.55
C. Ruiz, Argentina	1.58

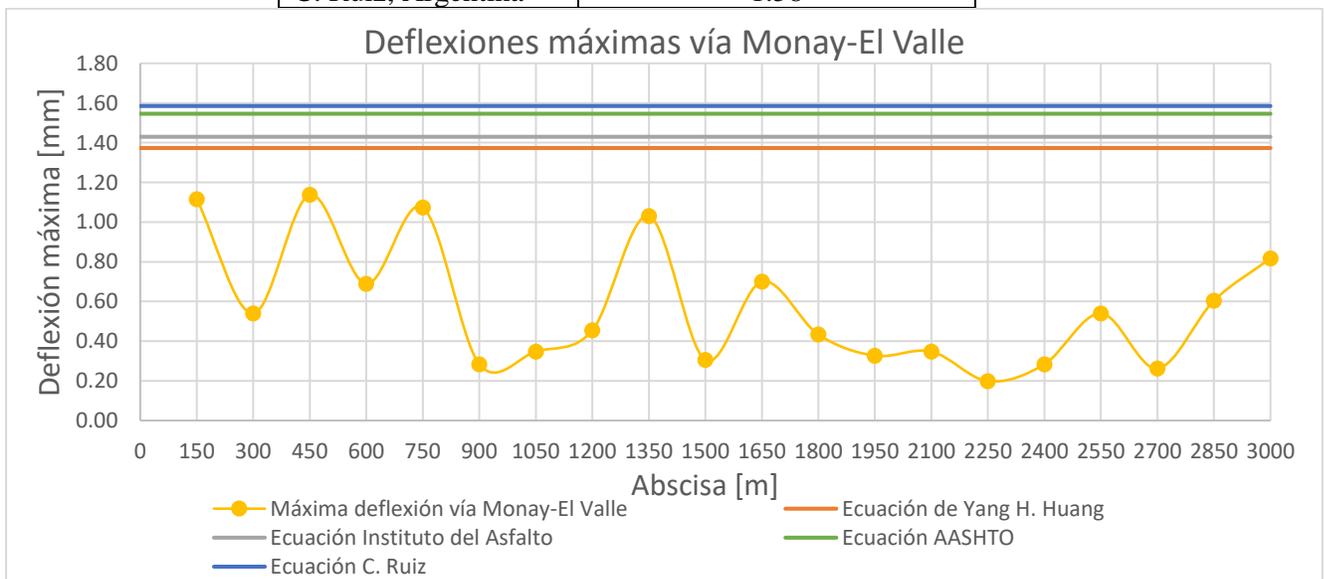




Figura N° 38. Comparación de las deflexiones máximas con la deflexión admisible de la vía Monay-El Valle según varios autores.

Como muestran las figuras, en ambos casos las deflexiones admisibles calculadas para ambas vías cumplen de manera muy satisfactoria en todos sus puntos, y para todos los autores consultados. Entonces, si en la realidad existiera una falla del pavimento, una de las posibles causas sería el aumento imprevisto del tráfico el cual no estuvo planificado y obedece al crecimiento acelerado de los sectores rurales debido a la migración de la gente hacia las afueras en busca de vivienda.

4.3.4. Área del cuenco de deflexión

El parámetro del AREA del cuenco de deflexión calculado como se indica en la Sección 3.3.6, se puede apreciar en la Tabla N° 79 para la carretera Ricaurte-Llacao.

Tabla N° 79. Área del cuenco de deflexión de la carretera Ricaurte-Llacao.

Estación	Abscisa	D0 (x=0cm)	D1 (x=30cm)	D2 (x=60cm)	D3 (x=90cm)	AREA del cuenco de deflexión
1	0+100	0.497	0.284	0.135	0.103	433.41
2	0+300	0.860	0.647	0.305	0.188	514.84
3	0+500	1.159	0.508	0.369	0.252	409.74
4	0+700	0.327	0.252	0.193	0.113	610.93
5	0+900	0.625	0.327	0.204	0.119	432.97
6	1+100	0.753	0.380	0.145	0.103	379.57
7	1+300	0.967	0.668	0.337	0.135	482.85
8	1+500	0.903	0.508	0.199	0.076	397.43
9	1+600	0.391	0.359	0.140	0.065	557.93
10	1+400	0.732	0.369	0.188	0.145	408.12
11	1+200	0.732	0.593	0.124	0.081	460.59
12	1+000	0.113	0.023	0.001	0.000	213.02
13	0+800	1.073	0.689	0.295	0.241	458.71
14	0+600	1.052	0.593	0.295	0.135	422.38
15	0+400	0.647	0.465	0.241	0.156	513.96
16	0+200	0.540	0.455	0.199	0.081	535.48
Promedio						452.00

Según el cuenco de deflexión de la carretera Ricaurte-Llacao, se tiene un valor del parámetro ÁREA máxima de 610.93, una mínima de 213.02 y como promedio 452, lo que se considera según lo que se menciona en la sección 3.3.6 un pavimento con una rigidez regular y con la



Tabla N° 53 un pavimento con una capa asfáltica delgada.

De igual forma en la Tabla N° 80 se presenta el AREA del cuenco de deflexión de la carretera Monay-El Valle.

Tabla N° 80. Área del cuenco de deflexión de la carretera Monay-El Valle.

Estación	Abscisa	D0 (x=0cm)	D1 (x=30cm)	D2 (x=60cm)	D3 (x=90cm)	AREA del cuenco de deflexión
1	0+150	1.116	1.031	0.785	0.551	712.17
2	0+450	1.137	0.524	0.305	0.135	386.47
3	0+750	1.073	0.604	0.316	0.167	430.39
4	1+050	0.348	0.199	0.113	0.092	458.48
5	1+350	1.031	0.743	0.433	0.305	536.70
6	1+650	0.711	0.604	0.273	0.124	546.48
7	1+950	0.327	0.172	0.076	0.055	402.69
8	2+250	0.199	0.129	0.108	0.081	569.62
9	2+550	0.540	0.385	0.252	0.172	551.78
10	2+850	0.604	0.444	0.257	0.145	534.37
11	3+000	0.817	0.625	0.412	0.220	571.08
12	2+700	0.263	0.188	0.119	0.081	546.56
13	2+400	0.284	0.188	0.145	0.124	567.48
14	2+100	0.348	0.231	0.097	0.076	465.38
15	1+800	0.433	0.252	0.081	0.023	388.49
16	1+500	0.305	0.225	0.156	0.108	577.62
17	1+200	0.455	0.295	0.177	0.129	504.01
18	0+900	0.284	0.231	0.156	0.108	615.39
19	0+600	0.689	0.519	0.231	0.124	503.03
20	0+300	0.540	0.433	0.284	0.167	594.75
Promedio						523.15

Con el cuenco de deflexión en la carretera Monay-El Valle, se tiene un valor del parámetro ÁREA máxima de 712.17, mínima de 402.69 y como promedio 523.15, lo que corresponde según lo mencionado en la sección 3.3.6 a un pavimento con rigidez buena, y con la Tabla N° 53 correspondiente a un pavimento con una capa asfáltica gruesa.

4.4. Comparación conjunta entre diseño, desempeño y normativa

Durante todo el capítulo se han recopilado los resultados concernientes a los desempeños funcional y estructural de las carreteras Ricaurte-Llacao y Monay-El Valle; así como también el análisis de los suelos usados en el proceso de estabilización con un enfoque al cumplimiento de diversas normativas. Con el objetivo de juntar y resumir todos estos resultados para obtener una



visión más clara toda la información se la juntará en esta sección.

En lo que se refiere a la carretera Ricaurte-Llacao se puede notar que el diseño incluye una capa de estabilización de un material cuyo módulo resiliente es de 12200 psi, lo que equivale a un valor de CBR de 12 aproximadamente. En lo que respecta al material estabilizado, este no cumple con todos los requisitos necesarios para estabilizar según varias normas. La medición de PCI resultó en un valor de 48, lo que resulta como regular, pero no se debería tener un valor tan bajo en tan poco tiempo. Según los tipos de falla se puede atribuir este estado al fallo de la capa de rodadura, esto debido a la gran presencia de desprendimiento de agregados en la capa de rodadura y baches. Aunque las deflexiones fueron mayores que en la otra carretera, estas todavía cumplen con los valores admisibles, además que la forma del cuenco de deflexiones obtenida es aceptable para una carretera terciaria.

En lo que respecta a la carretera de Monay, se tiene un suelo de mayor capacidad de 14400 psi o un CBR de 15 aproximadamente, según lo calculado con retrocálculo, pero al tener un mayor porcentaje de emulsión presenta un coeficiente estructural ligeramente mayor que en la carretera Ricaurte-Llacao. El suelo no llega a cumplir todos los requisitos para la mayoría de normativas, excepto la venezolana. La medición de PCI resultó en un valor de 60, lo que lo que equivale a bueno. Sin embargo, en esta carretera se notaron problemas ligados a la capa estabilizada del pavimento a pesar de tener un mejor desempeño estructural que la carretera de Ricaurte-Llacao, esto puede corroborar la sospecha de que existe una mayor cantidad de tráfico, especialmente de vehículos pesados en esta vía según lo que se notó en los momentos que se hicieron los ensayos en campo.

4.4.1. Relación entre desempeño funcional y estructural

Según la comparación entre los resultados presentados en la Figura N° 39 de la carretera Ricaurte-Llacao sobre la relación entre los resultados de desempeño funcional (PCI) y desempeño estructural (Viga Benkelman) no se puede establecer una correlación acertada ya que todos los valores no coinciden con la hipótesis esperada, esto es, que en pavimentos con un PCI bajo se presenten valores de deflexión altos, de igual manera en caso opuesto. Cabe recalcar que el análisis se efectúa con los resultados del desempeño funcional PCI sin daño particular (pasos de alcantarilla, ingresos, paso de tubería de agua potable, etc.)

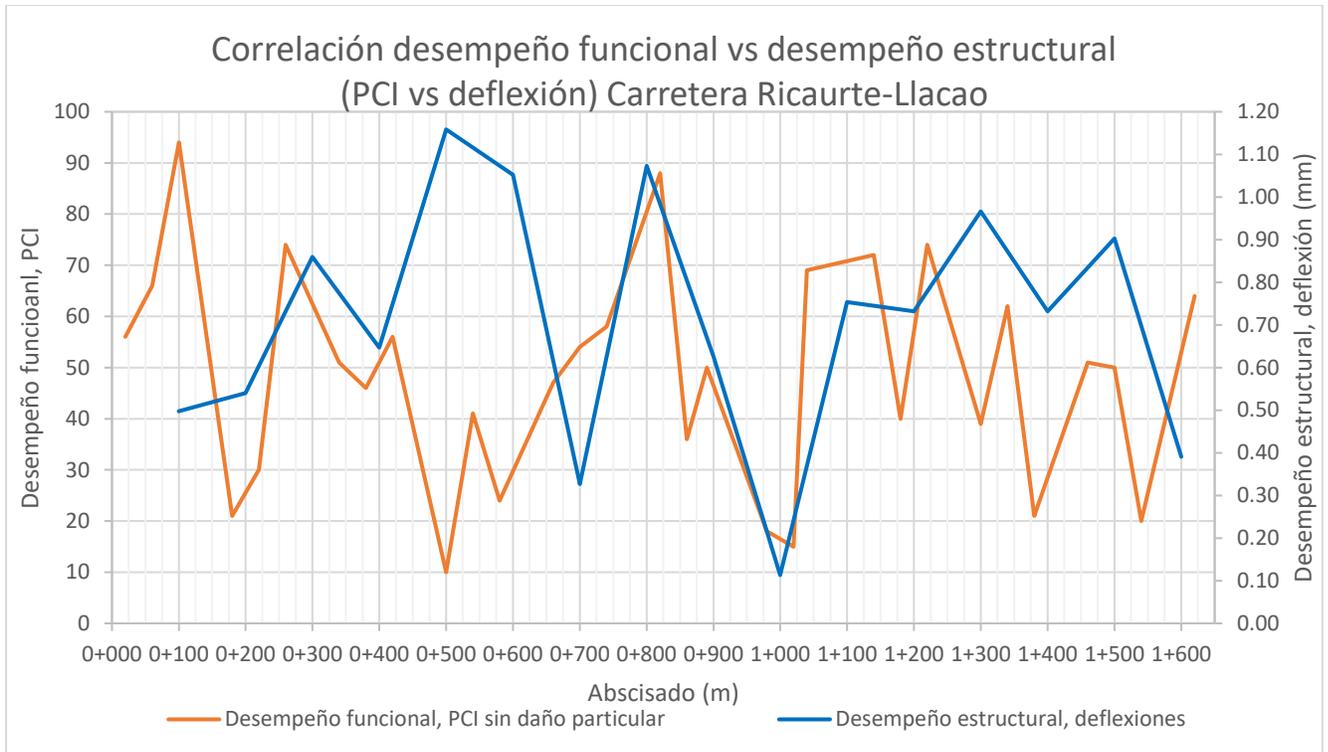


Figura N° 39. Relación entre desempeño funcional y estructural (PCI-Deflexión) carretera Ricaurte-Llacao.

De igual manera, con respecto a la carretera Monay-El Valle no se puede establecer una correlación acertada entre los desempeño funcional y desempeño estructural ya que la hipótesis planteada se presenta en algunos puntos como es en las abscisas 0+300, 0+850, 1+500, 1+950, 2+100, 2+250, 2+400, 2+700 donde los valores de PCI son altos y las deflexiones son bajas, mientras que en las abscisas 0+300, 0+450, 0+750, 1+350, 1+650, 3+000 se presentan valores altos PCI y valores altos de deflexión, lo cual contrarresta la hipótesis plantea. En esta carretera según la Figura N° 40 se puede apreciar una correlación más estable que la carretera Ricaurte-Llacao, pero de igual forma no se puede establecer que existe una correlación estable entre los desempeños.

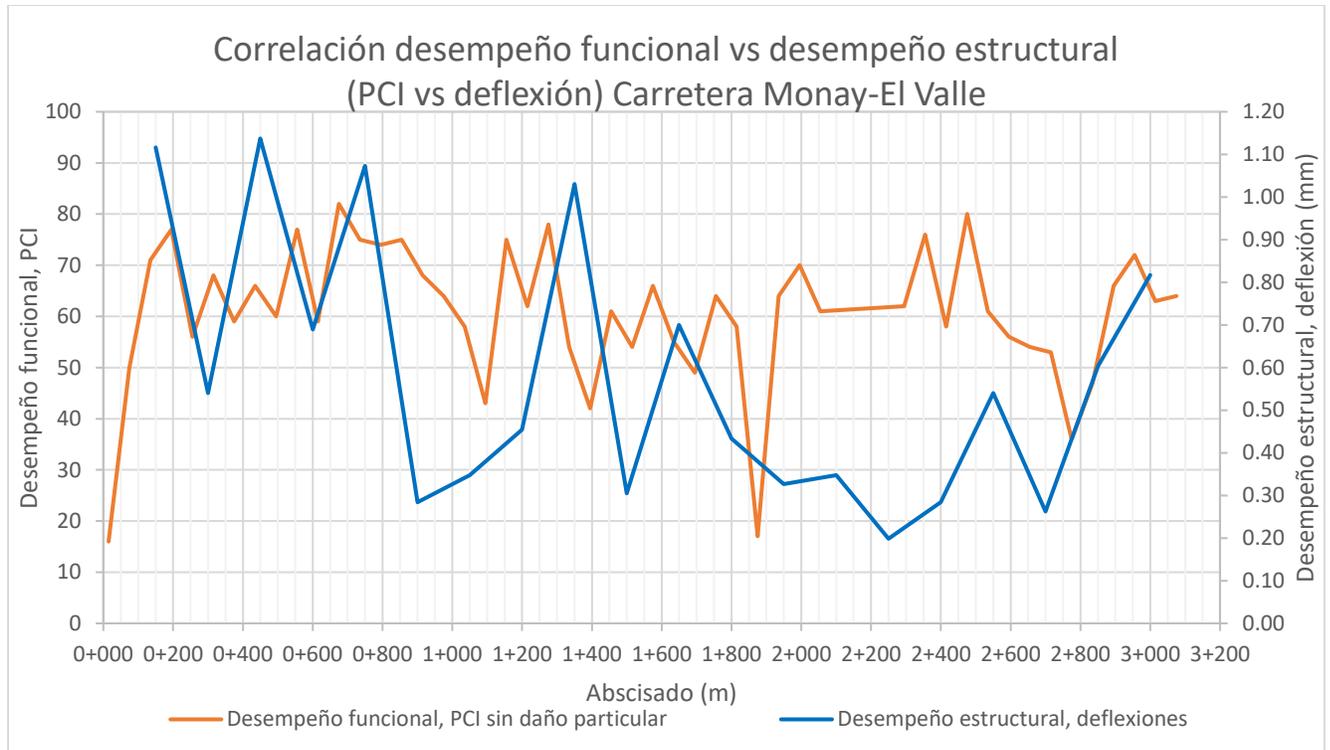


Figura N° 40. Relación entre desempeño funcional y estructural (PCI-Deflexión) carretera Monay-El Valle.

4.4.2. Comparación con otras vías de la región

Los suelos que generalmente conforman la capa de rodadura de carreteras terciarias de “lastre” pueden ser clasificados como suelos A-2-6. Estos suelos no poseen las características más recomendadas para realizar la estabilización, especialmente en el ámbito de los límites de Atterberg. Sin embargo, a pesar de esto, y de acuerdo a la sección 4.3.2 estos pueden llegar a desarrollar una buena resistencia estructural con coeficientes estructurales de 0.2 al 0.26 que satisfacen las necesidades estructurales de un tráfico propio de una carretera terciaria (de bajo tránsito).

En lo que se refiere al material estabilizado, los números estructurales de la carretera Puno-Tacna fueron de 1.6 para la capa de material de base estabilizado y subbase granular, siendo el coeficiente estructural de la base estabilizada de 0.23; valor mayor al obtenido en los casos de estudio. Sin embargo, en la carretera Puno-Tacna se usó un 2 % de emulsión en base granular, que fue lo considerado necesario según las exigencias del proyecto, mientras que en las carreteras de Ricaurte fue de 3.2 % y en la de Monay de 4.5 %; resultado de esto se han tenido



valores de coeficientes estructurales menores pero con un material de calidad menor.

En la carretera de acceso a la Vereda La Argentina se tiene un caso similar al de la carretera Ricaurte-Llacao, en la que existe un deterioro acelerado de la capa de rodadura, lo que se puede inferir que se debe a que al encontrarse la carretera en un área de carácter rural no existe un adecuado sistema de drenaje que proteja la carretera; especialmente para la capa superficial que es la que presenta mayor deterioro en estas vías.

En la carretera Pindal-Milagros al tenerse valores de ESAL de 321500, un valor de ESAL mayor a 300000 al igual que en la Puno-Tacna, se tomó la decisión de estabilizar base granular con un espesor de 15 cm. Esto da a notar que para vías terciarias con un mayor tráfico es una mejor opción el uso de base con respecto a material de “lastre” o suelo propio del lugar. En la normativa colombiana se habla de un valor de 150000 ESAL, pero este valor podría ser mayor, según los resultados estructurales obtenidos en las carreteras de estudio.

4.5. Comparación en relación al costo unitario de construcción entre una carretera con suelos estabilizado y una sin estabilizar

En este análisis se realizó una comparación de costos unitarios por metro cubico de construcción exclusivamente entre la capa de suelo estabilizado y una capa base granular. Esto se realizó ya que tradicionalmente al construirse un pavimento con capa de rodadura de DTSB se coloca una capa de base granular sobre el material grava-arcilla existente en carreteras terciarias. Se tomó en cuenta la mano de obra, maquinaria, materiales y transporte como se puede observar en la Tabla N° 81,

Tabla N° 82 y Tabla N° 83. Los costos unitarios de cada maquinaria fueron obtenidos a partir de información aportada por parte de la Prefectura del Azuay, cabe recalcar que los procesos de construcción son diferentes, ya que se utilizan distintos equipos, maquinarias y materiales.



Tabla N° 81. Costo unitario de construcción de la capa estabilizada con emulsión asfáltica con material reciclado (Información recopilada de parte de la Prefectura del Azuay).

				Unidad	m ³
Estabilizado con 4.5 % de emulsión asfáltica con material reciclado (Monay-El Valle)				Rendimiento	150
					m ³ /hora
Maquinaria					
Descripción	Cantidad (u)	Tarifa (\$/hora)	Costo hora (\$)	Rendimiento	Costo (\$/m ³)
Recicladora	1	125	125	150	0.833
Tanquero de emulsión asfáltica	1	30	30	150	0.200
Motoniveladora	1	45	45	150	0.300
Rodillo pata de cabra	1	40	40	150	0.267
Rodillo liso	1	35	35	150	0.233
Subtotal					1.833
Mano de obra					
Descripción	Cantidad (u)	Jornada (\$/día)	Costo hora (\$)	Rendimiento	Costo (\$/m ³)
Operador Tipo I	2	32.33	4.04	150	0.054
Operador Tipo II	2	30.77	3.85	150	0.051
Peón	5	28.82	3.6	150	0.120
Chofer	1	42.33	5.29	150	0.035
Subtotal					0.260
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$/L)	Costo (\$/m ³)	
Emulsión asfáltica Curado lento CSS-1H	L/m ³	90	0.3432	30.888	
Subtotal				30.888	
Transporte					
Descripción	Unida	Cantidad	Tarifa (\$/L)	Costo (\$/m ³)	
Emulsión asfáltica	L/m ³	90	0.045	4.050	
Subtotal				4.050	
Total costo directo (\$/m ³)					37.032
Indirectos y utilidades 25 %					9.258
Otros indirectos 0.00 % (\$/m ³)					0
Costo total del rubro (\$/m ³)					46.290
Valor efectivo (\$/m ³)					46.29
Total de construcción de reciclado de material y estabilizado con 4.5 % de emulsión asfáltica (\$/m ³)					46.29



Tabla N° 82. Costo unitario de construcción de la capa estabilizada con emulsión asfáltica con material reciclado (Información recopilada de parte de la Prefectura del Azuay).

				Unidad	m ³
Estabilizado con 3.2 % de emulsión asfáltica con material reciclado (Ricaurte-Llacao)				Rendimiento	150
					m ³ /hora
Maquinaria					
Descripción	Cantidad (u)	Tarifa (\$/hora)	Costo hora (\$)	Rendimiento	Costo (\$/m ³)
Recicladora	1	125	125	150	0.833
Tanquero de emulsión asfáltica	1	30	30	150	0.200
Motoniveladora	1	45	45	150	0.300
Rodillo pata de cabra	1	40	40	150	0.267
Rodillo liso	1	35	35	150	0.233
Subtotal					1.833
Mano de obra					
Descripción	Cantidad (u)	Jornada (\$/día)	Costo hora (\$)	Rendimiento	Costo (\$/m ³)
Operador Tipo I	2	32.33	4.04	150	0.054
Operador Tipo II	2	30.77	3.85	150	0.051
Peón	5	28.82	3.6	150	0.120
Chofer	1	42.33	5.29	150	0.035
Subtotal					0.260
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$/L)	Costo (\$/m ³)	
Emulsión asfáltica Curado lento CSS-1H	L/m ³	64	0.3432	21.965	
Subtotal					21.965
Transporte					
Descripción	Unida	Cantidad	Tarifa (\$/L)	Costo (\$/m ³)	
Emulsión asfáltica	L/m ³	64	0.045	2.880	
Subtotal					2.880
Total costo directo (\$/m ³)					26.939
Indirectos y utilidades 25 % (\$/m ³)					6.735
Otros indirectos 0.00 % (\$/m ³)					0
Costo total del rubro (\$/m ³)					33.673
Valor efectivo (\$/m ³)					33.67
Total de construcción de reciclado de material y estabilizado con 3.2 % de emulsión asfáltica(\$/m ³)					33.67



Tabla N° 83. Costo unitario de construcción de la capa con material base (Información recopilada de parte de la Prefectura del Azuay).

				Unidad	m ³
Tendido de Base granular Tipo III				Rendimiento	34 m ³ /hora
Maquinaria					
Descripción	Cantidad (u)	Tarifa (\$/hora)	Costo hora (\$)	Rendimiento	Costo (\$/m ³)
Motoniveladora	1	45	45	34	1.350
Tanquero de Agua	1	30	30	34	0.900
Rodillo liso	1	35	35	34	1.050
Subtotal					3.300

Mano de obra					
Descripción	Cantidad (u)	Jornada (\$/día)	Costo hora (\$)	Rendimiento	Costo (\$/m ³)
Operador Tipo I	1	32.33	4.04	34	0.121
Operador Tipo II	1	30.77	3.85	34	0.116
Peón	5	28.82	3.6	34	0.540
Chofer	1	42.33	5.29	34	0.159
Subtotal					0.935

Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$/L)	Costo (\$/m ³)	
Base	m ³	1.25	15	18.75	
Agua	m ³	0.03	0.66	0.0198	
Subtotal					18.7698

Transporte				
Descripción	Unida	Cantidad	Tarifa (\$/L)	Costo (\$/m ³)
Base	Hora	0.083	30	2.49
Subtotal				2.49
Total costo directo (\$/m ³)				25.496
Indirectos y utilidades 25 % (\$/m ³)				6.374
Otros indirectos 0.00 % (\$/m ³)				0
Valor efectivo (\$/m ³)				31.87

Como se puede apreciar en las tablas anteriores de resultados el costo unitario de construcción por m³ es de \$46.29 para la capa con suelo estabilizado con 4.5 % de emulsión asfáltica, de \$33.67 con 3.2 % de emulsión asfáltica y de \$31.87 para la capa con material base. Según los resultados, resulta más barato colocar una capa de material base debido a que en la provincia no existe una fábrica de producción de emulsión asfáltica y se debe traer desde Quito, esto repercutiendo en el costo de la estabilización.



A pesar de lo expuesto anteriormente, si se toma en consideración el número estructural que ofrece cada capa y la equivalencia que tendría una de base granular que ofrezca la misma capacidad estructural que la capa estabilizada, se tiene como resultado los datos presentados en la Tabla N° 84 y Tabla N° 85.

Tabla N° 84. Costos unitarios por m² de construcción según espesor y número estructural de la carretera Ricaurte-Llacao.

Detalle costo construcción de la capa de la carretera Ricaurte-Llacao	Costo (\$/m²)
Capa estabilizada con 3.2 % de emulsión asfáltica, suelo reciclado espesor 10 cm (SN=1.11)	3.37
Tendido de material base granular con espesor de 10 cm (SN=0.7)	3.18
Tendido de material base granular con espesor de 16 cm (SN=1.11)	5.08

Tabla N° 85. Costos unitarios por m² de construcción según el espesor y número estructural de carretera Monay-El Valle.

Detalle costo construcción de la capa de la carretera Monay-El Valle	Costo (\$/m²)
Capa estabilizada con 4.5 % de emulsión asfáltica, suelo reciclado espesor 15 cm (SN=1.7)	6.94
Tendido de material base granular con espesor de 15 cm (SN=1.03)	4.78
Tendido de material base granular con espesor de 24.6 cm (SN=1.7)	7.83

Tomando en cuenta las consideraciones expuestas, resulta más barato la construcción de una capa estabilizada con emulsión asfáltica brindando un ahorro del 34 % para la carretera Ricaurte-Llacao y de 11 % para la carretera Monay-El Valle.

De igual forma según información aportado por la Prefectura del Azuay el rendimiento en el proceso de construcción de la capa estabilizada con emulsión asfáltica con suelo reciclado de las carreteras en estudio de 8000 m²/día o 150 m³/hora (García Valencia, 2020), mientras que para el tendido de la capa base tipo III el rendimiento es de 34 m³/hora (Insucons, s.f.). Los valores de salarios de mano de obra para elaborar de las tablas de costos de construcción se obtuvieron del reporte de la Contraloría General del Estado del año 2020.



CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

5.1.1. Conclusión general

El uso de suelo estabilizado con emulsión asfáltica, como parte de la estructura vial en carreteras de tercer orden y caminos vecinales es viable siempre y cuando se cuente con suelos que mejoren sus propiedades y no tengan excesiva cantidad de finos; un ejemplo de esto son los suelos A-1, A-2-4, e incluso hasta los A-2-6. Otra condición que favorece a la viabilidad de esta técnica es la estabilización in-situ, ya sea con suelos propios del lugar que cumplan las características mencionadas o en caminos anteriormente construidos con grava-arcilla (suelo clasificado como A-2-4 o A-2-6) o material de base. También son importantes la disponibilidad de material estabilizante (emulsión) y el equipo necesario para la mezcla, obras de drenaje adecuadas; así como también parámetros bien definidos para el diseño, como proyecciones de tráfico adecuadas, periodo de diseño y mantenimiento adecuado como en cualquier otra carretera.

5.1.2. Conclusiones con respecto a bibliografía y normativas

Con respecto a la revisión de criterios y mecanismos de estabilización de suelos se puede concluir que los parámetros más decisivos que se deben analizar en un suelo son su granulometría y límites Atterberg independientemente del tipo de estabilización.

Uno de los criterios a la hora de elegir un método de estabilización debe ser la disponibilidad y precio de los estabilizantes, en especial si se consideran carreteras de tercer orden, cuyo presupuesto es limitado. Por esto, es preferible recurrir a estabilizantes comúnmente encontrados en mercado como cemento, cal o asfalto; siempre y cuando la estabilización suponga un beneficio frente a otras opciones como la mezcla del material con otro o la sustitución del material por otro de mejor calidad.

A partir de diferentes casos de estudio en la región y dentro del país se ha probado que la estabilización con emulsión asfáltica ha dado buen resultado en la construcción de carreteras de tercer orden; esto gracias a que al no existir un tráfico elevado y proveerse de la capacidad



estructural necesaria casi en su totalidad con la capa estabilizada.

La capa estabilizada en los diseños de carreteras terciarias es la que confiere el mayor aporte estructural; por ende, la de mayor importancia en el diseño. A pesar de esto, es importante el revestimiento de esta capa con una capa de rodadura, la cual provee protección a la capa estabilizada y evitar que pierda sus propiedades mejoradas.

Una cuantificación exacta sobre las mejoras como módulo resiliente y capacidad CBR que supone el uso de emulsión asfáltica en diferentes tipos de suelos y con diferentes porcentajes de emulsión no están muy claros en la literatura y pueden ser variables; por lo tanto, es importante la realización de pruebas ya sea de campo o laboratorio que ayuden a cuantificar dichas mejoras.

El mecanismo más atractivo económicamente para la estabilización de carreteras terciarias es la mezcla de material in-situ. Este método es el más recomendado ya que se evita el uso de una planta de mezclado que puede o no estar disponible en la zona de construcción, especialmente en la provincia del Azuay.

Se requiere mayor estudio y reglamentación sobre el uso de este tipo de estabilización. La normativa ecuatoriana solo trata el caso de las bases asfálticas (mezcla entre base granular y emulsión), dejando de lado otro tipo de suelos que podrían dar buenos resultados, como por ejemplo los suelos de grava-arcilla estudiados en este documento.

5.1.3. Conclusiones con respecto al desempeño

Existe un gran problema en las carreteras terciarias en lo que respecta a la colaboración de la ciudadanía, ya que al realizar trabajos ya sea para servicios públicos o construcciones privadas se realizan excavaciones en la carretera, las cuales no siempre son reparadas adecuadamente; ocasionando que el agua penetre en la estructura de la carretera y acelere el deterioro de la misma.

Aunque en las carreteras de estudio no se pudo obtener un resultado conciso en materia de desempeño funcional, ya que este depende de todo el pavimento y no únicamente de la capa estabilizada; se notó que la capa estabilizada cuenta con un buen comportamiento, sin presentar fallas significativas cuando no se exceden los niveles de tránsito proyectados, especialmente en lo referente a vehículos pesados.

Las capas estabilizadas cuentan con un buen comportamiento estructural para el tráfico que



fueron inicialmente diseñadas, dándose deflexiones máximas de 1.16 mm y 1.14 mm, menores a las admisibles de 1.36 y 1.37 para Ricaurte-Llacao y Monay-El Valle respectivamente. Además, el cálculo del parámetro AREA, clasificó como pavimento de rigidez regular para Ricaurte y de buena rigidez para Monay, por lo que las capas estabilizadas trabajan bien para un tráfico de 200000 ESAL, un tráfico propio de una vía terciaria.

En base a los resultados de capacidad estructural se demuestra que sí es posible construir una base suelo-emulsión con coeficientes estructurales cercanos a 0.2 con suelos diferentes a bases granulares como material a estabilizar (en el caso de estudio material de “lastre”).

5.1.4. Conclusiones con respecto a la viabilidad y aspecto económico

El análisis económico muestra que es más costosa la construcción de una capa de material reciclado in-situ estabilizado con emulsión asfáltica que una capa de material base granular, pero al realizar una comparación con la capacidad estructural se puede notar que es más económico construir una capa de material estabilizado con emulsión asfáltica que una capa equivalente de base granular que tenga la misma capacidad estructural, llegando a ser hasta un 34 % más económico.

Los parámetros estudiados en dos carreteras del Azuay muestran que incluso si los suelos con los que se cuentan no son los recomendados para estabilizar, se pueden obtener mejoras en su capacidad estructural. Sin embargo, si se compara las dos carreteras de estudio, un porcentaje de emulsión del 4.5 % deja de ser tan atractivo que un porcentaje de 3.2 % en el ámbito económico, mientras que la mejora de capacidad estructural no es tan significativa; por lo que es preferible realizar una estabilización con porcentajes menores a 4.5 % desde un punto de vista económico.

5.2. Recomendaciones

El trabajo realizado consistió únicamente en ensayos de campo, por lo que se recomienda la realización de ensayos de laboratorio como CBR o Marshall que complemente a los estudios realizados en campo. En estos se pueden ensayar muestras con diferentes porcentajes de emulsión y obtener datos de su comportamiento; esto para suelos comúnmente encontrados como capas de rodadura en carreteras terciarias sin pavimentar.

Se recomienda para futuros trabajos implementar un conteo vehicular en las vías a estudiar, para que de esta manera se pueda constatar que el tráfico recibido corresponde según la clasificación



de la vía. Durante el presente trabajo y debido a la emergencia sanitaria no fue posible realizar un conteo vehicular, por la presencia de restricciones de circulación de vehículos y afectaciones a la movilidad durante la emergencia.

En el contexto del análisis de la emulsión asfáltica como estabilizante, se incentiva a continuar la investigación ya sea en carreteras de primer o segundo orden para así obtener una base de datos más amplia que ayude a determinar su viabilidad de uso extendido en toda la red vial.

Los derrames de emulsión asfáltica en el suelo pueden causar impactos ambientales (sección 2.1.3.5 apartado VII), estos son leves y no sobrepasan los beneficios que supone el uso de suelos encontrados in-situ para su estabilización en comparación a la explotación y transporte de material ajeno al sitio en cuanto a huella de carbono y explotación de materiales.

Es importante mantener un monitoreo de estas carreteras y otras construidas con la misma tecnología; ya que con esto se pueden obtener más datos sobre el comportamiento de la estabilización en diferentes tipos condiciones y su comportamiento con respecto al tiempo.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*.
- Almeida, F., & Sánchez, E. (2011). *Estabilización de suelos con el uso de emulsión asfáltica catiónicas de rotura lenta. Caso de estudio vía Las Mercedes - Puerto Nuevo, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*. Quito.
- ASTM D 6433. (2007). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*.
- Ball, G., Herrington, P., & Patrick, J. (2008). Environmental Effects of Emulsions. *Land Transport New Zealand Research Report 343*, 46.
- Bejarano, L. E. (2013). *Análisis estructural de un pavimento flexible con presencia de deterioro, por medio de deflexiones obtenidas con equipo de carga dinámica y estática*. Bogota, Colombia.
- Braja, D. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica, cuarta edición*. Mexico.
- CAF. (2010). *Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito*. Caracas: Corporación Andina de Fomento.
- Calidonio, E., Carrillo, S., & Meléndez, C. (2010). *Diseño de mezcla suelo-agregado-emulsion como alternativa para mejoramiento de caminos de bajo volumen de tránsito*. Santa Ana, El Salvador.
- Caparó, E. F., & Escalante, L. M. (2015). *Estabilización de suelos con emulsión asfáltica in situ en la Av. Prolongacion Andrés Avelino Cáceres, Análisis comparativo*. Arequipa, Perú.
- Carrasco, S. F., & Vizhnay, C. J. (2019). *Evaluación esstructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman*. Cuenca, Ecuador.
- Chávez , Y. G., Hernández, N. X., & Ricaurte, C. M. (2018). *Estudio patológico en la base estabilizada con crudo de castilla del K0+230 al K2+330 de la vía de acceso a la verada La Argentina del municipio de Villavicencio Meta*. Villavicencio, Colombia: Universidad Santo Tomás.
- Corros B., M., Urbáez P., E., & Corredor M., G. (2009). *Manual de evaluación de pavimentos*. Venezuela: Universidad Nacional de Ingeniería.
- COVENIN. (2000). *Sector de construccion. especificaciones. Codificacion y mediones. Parte 1*.



Carreteras. Caracas, Venezuela.

De la Torre Illescas, M. J. (2018). *Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento portland para el proyecto de conservación vial Puno Tacna tramo Tarata - Capazo - Mazocruz*. Lima, Peru: Universidad San Ignacio de Loyola.

Decreto Ejecutivo No. 436. (2018). *Reglamento a la ley sistema infraestructura vial del transporte terrestre*. Quito, Ecuador.

Ecuador, Asamblea Constituyente . (2010). *Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Descentralización y Autonomía "COOTAD"*. Quito.

Fernández Loaiza, C. (1982). *Mejoramiento y estabilización de suelos*. Limusa.

FHWA. (2013). *Reformulated Pavement Remaining Service Life Framework*. McLean.

FHWA. (2017). *Using Falling Weight Deflectometer Data With Mechanistic-Empirical Design and Analysis, Volume I: Final Report. Chapter 2. Overview of Pavement Deflection Testing*.

GAD de la parroquia El Valle. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia El Valle*. Cuenca, Ecuador.

GAD de la parroquia Ricaurte. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia de Ricaurte diagnostico*. Cuenca, Ecuador.

García Valencia, J. (2020). Reportes técnicos por la Prefectura del Azuay. Cuenca, Azuay, Ecuador.

Gutiérrez Montes, C. A. (2010). *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio*. Lima, Perú.

Higuera Sandoval, C. H. (2007). Leyes de comportamiento de la deflexión admisible en pavimentos flexibles. *Revista Facultad de Ingeniería UPTC*, 22, 7-14.

Higuera Sandoval, C. H. (2009). *Características de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto*.

Higuera Sandoval, C. H. (2009). Caracterización de los cuencos de deflexión en estructuras de pavimentos flexibles. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC*, 72-88.

Hoffman, M. S., & Del Aguila, P. M. (1985). *Estudios de evaluación estructural de pavimentos*



basados en la interpretacion de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos).

Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and desing* (Vol. Second edition).

I.N.V. E - 795. (2013). *Medida de la deflexión de un pavimento empleando dispositivo de carga estatico no continuo, viga Benkelman*. Bogota.

Instituto del Asfalto. (2005). *Manual básico de emulsiones asfálticas*. USA.

Instituto Ecuatoriana de Normalizacion, NTE INEN 2062. (2009). *Productos derivados del petróleo. Emulsion asfáltica catiónicas. Requisitos*. Quito.

Instituto español del cemento y sus aplicaciones; Asociacion nacional técnica de estabilizacion de suelos y reciclado de firmes; Asociacion nacional de fabricantes de cales y derivados de España. (n/s). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. Madrid, España: Vaquero servicios de publicaciones, S.L.

Instituto mexicano del transporte. Secretaria de comunicaiones y transportes. (1998). *Evaluación estructural no destructiva de pavimentos*. Mexico.

INVIAS. (1998). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito*. Popayán.

INVIAS. (2013). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Capítulo 3*. Colombia.

INVIAS. (2013). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Capítulo 4*. Colombia.

Juarez, E., & Rico, A. (2003). *Mecánica de suelos, tomo I*. Limusa, Mexico.

Kestler, M. A. (2009). *Stabilization Selection, Guide for Aggregate and Native-Surfaced Low-Volume Roads*. U.S. Department of Agriculture (USDA).

Kézdi, Á. (1979). *Stabilized Earth Roads*. ELZEVIER.

Lay, M. G. (2009). *Handbook of Road Technology*. Londres: Spon Press.

Marquez, J. d. (n.d.). *Estabilización de suelos con cal en la construcción de carreteras*. México D.F.

Mateos, M. (1961). Estabilización de suelos con cloruro calcico. *Revista de obras publicas*, 155-158.

Mercado, R., Bracho, C., & Avendaño, J. (2008). *Emulsiones asfálticas. Usos - rompimiento*.



Merida - Venezuela.

- Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías. (2007). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito*. Colombia.
- Montejo Foncesa, A., Montejo Piratova, A., & Montejo Piratova, A. (2018). *Estabilización de suelos*. Bogota: Ediciones de la U.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogota, Colombia: Agora Editores.
- MOP-001, M. d. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*.
- MTC. (2013). *Manual de carreteras; suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima. Peru.
- MTC/14. (2014). *Manual de carreteras "Suelos, geotecnia, geotecnia y avimentos" sección: suelos y pavimentos*. Lima, Perú.
- MTOP. (2013). *Norma ecuatoriana vial NEVI-12-MTOP* (Vol. 3). Quito, Ecuador.
- N·CMT·4·02·003. (2019). *Materiales para bases tratadas*. México.
- N·CSV·CAR·4·02·005. (2014). *Construcción de bases o subbases estabilizadas*. México.
- Nacional Lime Association. (2004). *Manual de estabilización de suelo tratado con cal*.
- Nagyváti, B. (1959). *Stabilization of sand with tar an pozzuolana meal*. Mélyépítéstudományi Szemle.
- NCHRP. (2004). *Guide for Mechanistical-Empirical Design; Part 2. Design Inputs; Chapter 2. Material Characterization*. Champaign, Illinois.
- N-CMT-4-01. (2002). *Materiales para Revestimiento*. México.
- NTE INEN 1981. (2013). *Productos derivados del petróleo. Determinación de la viscosidad Saybolt*. Quito, Ecuador.
- NTE INEN 901. (2013). *Emulsiones asfálticas. Determinación del residuo por destilación*. Quito, Ecuador.
- NTE INEN 902. (2013). *Emulsiones asfálticas. Determinación de la demulsibilidad*. Quito, Ecuador.
- NTE INEN 903. (2013). *Emulsiones asfálticas. Determinación de la capacidad de recubrimiento y resistencia al agua*. Quito, Ecuador.
- NTE INEN 905. (2013). *Emulsiones asálticas. Determinación del residuo por evaporación*.



Quito, Ecuador.

NTE INEN 908. (2013). *Emulsiones Asfálticas. Identificación de la emulsión según la polaridad de las partículas.* Quito, Ecuador.

NTE INEN 909. (2013). *Emulsiones asfálticas. Determinación de la estabilidad al almacenamiento.* Quito, Ecuador.

NTE INEN 910. (2013). *Emulsiones asfálticas. Ensayo de asentamiento.* Quito, Ecuador.

NTE INEN 915. (2013). *Materiales Bituminosos. Determinación de la solubilidad en tricloroetileno.* Quito, Ecuador.

NTE INEN 916. (2013). *Materiales bituminosos. Determinación de la ductilidad.* Quito, Ecuador.

NTE INEN 917. (2013). *Materiales bituminosos. Determinación de la penetración.* Quito, Ecuador.

Picado Muñoz, G. (2016). Desarrollo de curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de incertidumbre. *Revista Infraestructura Vial*, 30-38.

Prefectura del Azuay. (2017). *Plan de infraestructura via provincial.* Cuenca.

Quiroz Vargas, W. F. (2017). *Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión con asfalto y diésel para determinar cual estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR.* Ambato.

Rodríguez Talavera, R., Castaño Meneses, V., & Martínez Madrid, M. (2001). *Emulsiones asfálticas.* Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.

Sarmiento Álvarez, L. A. (2018). *Análisis de la aplicación de bases estabilizadas con capa de protección asfáltica en los plazos, costos y calidad de construcción en la vía Pindal-Milagros-Paletillas y su impacto en la red terciaria de la provincia de Loja.* Loja, Ecuador.

Secretaría de comunicaciones y transporte, Instituto mexicano del transporte. (2001). *Emulsiones asfálticas.* Sanfandila, Mexico.

Serment Moreno, S. (2013). Emulsiones asfálticas: Una alternativa verde para los sistemas de caminos. *10.13140/RG.2.1.4261.4802.*

Sidess, A., Ravina, A., & Oged, E. (2020). A model for predicting the deterioration of the



pavement condition index. *International Journal of Pavement Engineering*.

Torres Gracia, A. I. (2014). Propuesta metodológica para la evaluación y mejoramiento, con emulsión asfáltica y/o cemento, de los materiales granulares existentes en las vías terciarias. *Universidad Militar de Nueva Granada*, 1-27.

Ulloa Calderón, A. (2012). Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio. *Metodos y Materiales*, 17-24.

Vásquez Varela, L. R. (2002). *Pavement condition index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Manizales.

Wallace, J., Rogers, M., & Hugh, A. (1962). *Pavimentos asfálticos, proyecto y construcción*. Madrid: Aguilar.

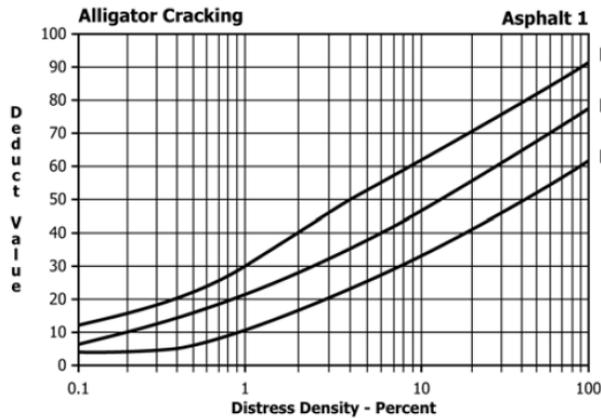
Wirtgen. (2004). *Manual de Reciclado en Frío*. Windhagen.



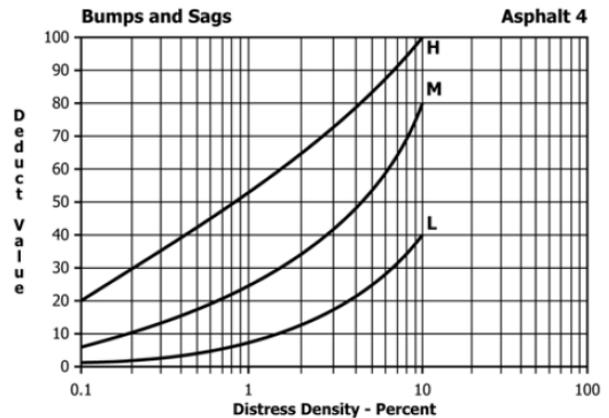
ANEXOS

Anexo 1

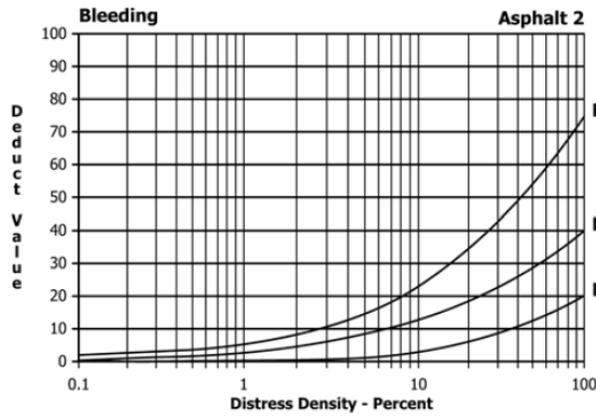
Gráficas para obtener los valores a deducir de las distintas fallas presentes en pavimentos asfálticos.



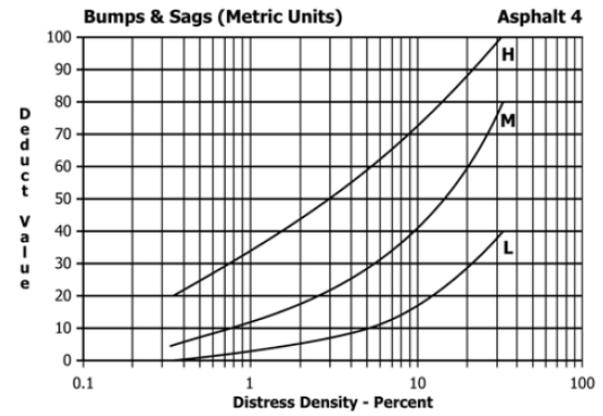
Falla 1. Piel de cocodrilo



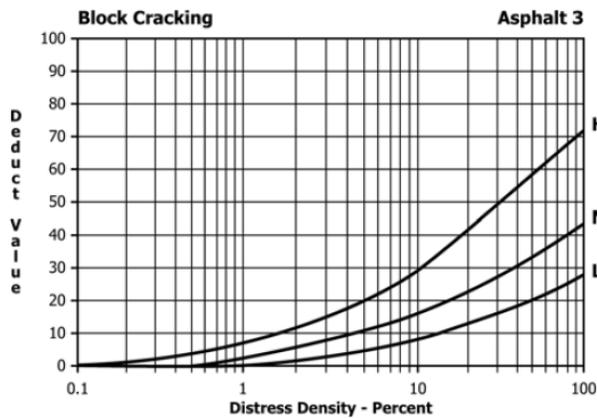
Falla 4. Abultamientos o hundimientos



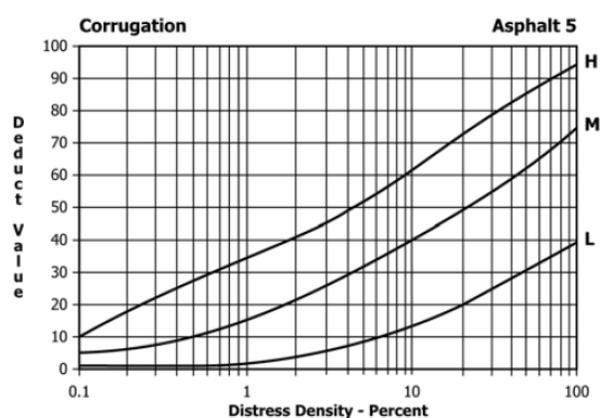
Falla 2. Exudación



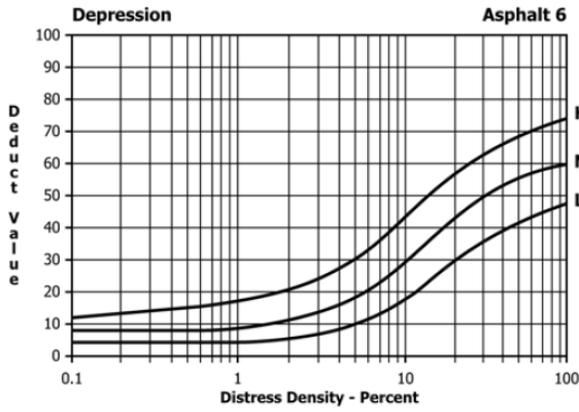
Falle 4. Abultamientos o hundimientos (unidades métricas)



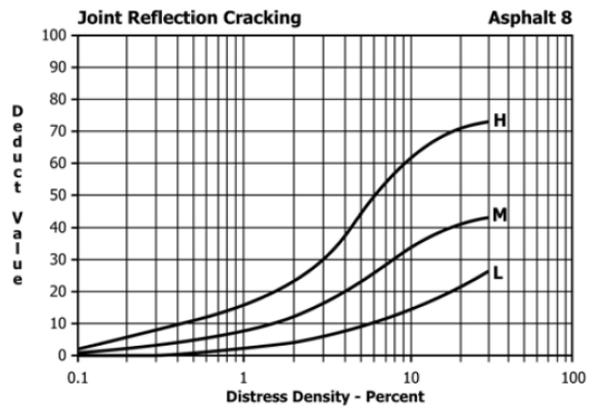
Falla 3. Agrietamiento en bloque



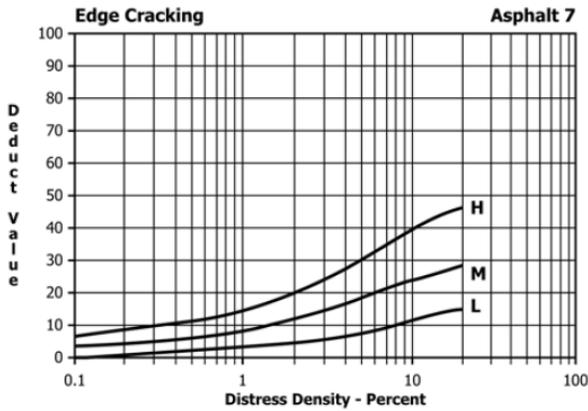
Falla 5. Corrugación



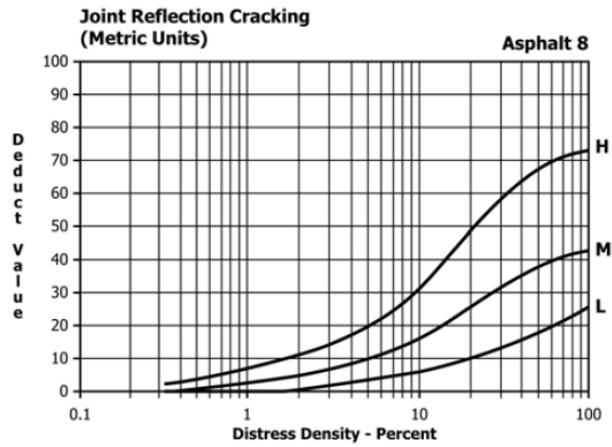
Falla 6. Depresión



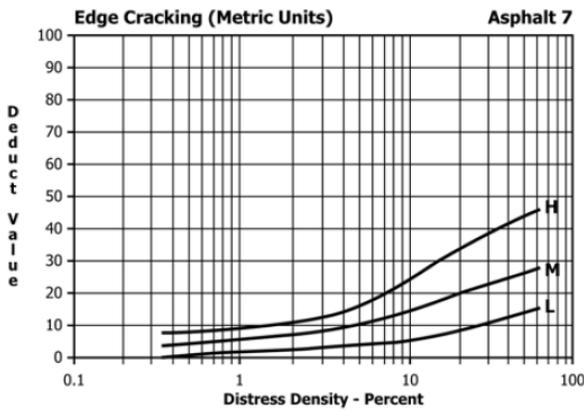
Falla 8. Grietas de reflexión de junta



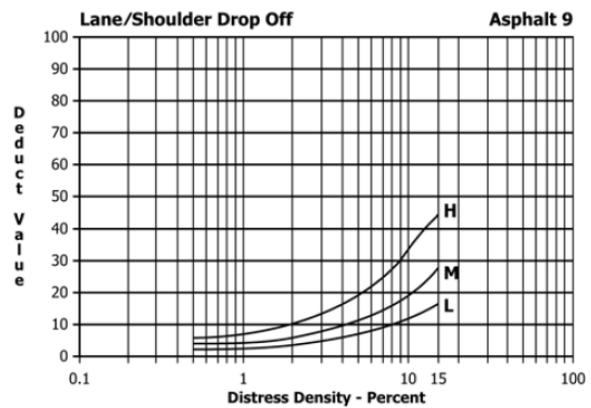
Falla 7. Grietas de borde



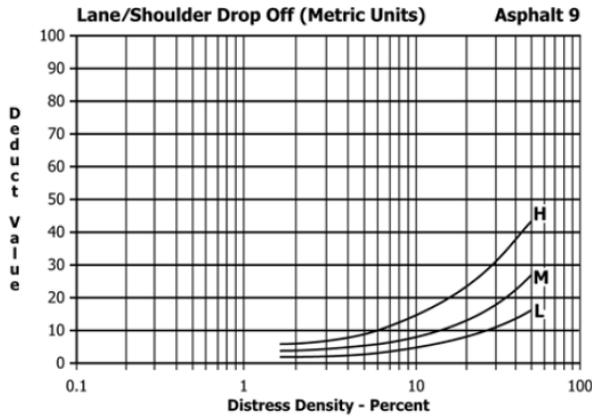
Falla 8. Grietas de reflexión de junta (unidades metricas)



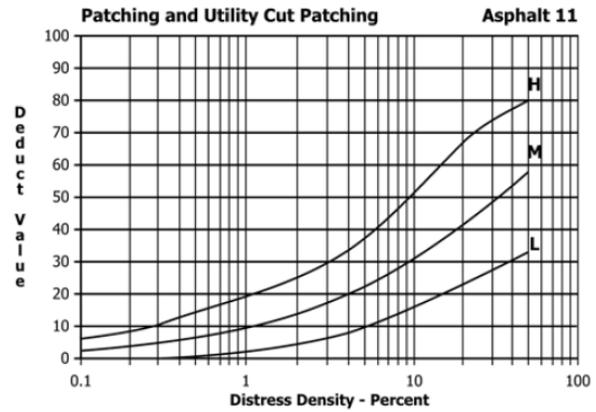
Falla 7. Grietas de borde (unidades metricas)



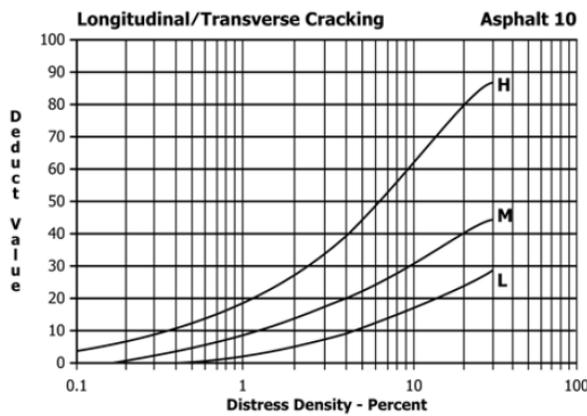
Falla 9. Desnivel carril/berma



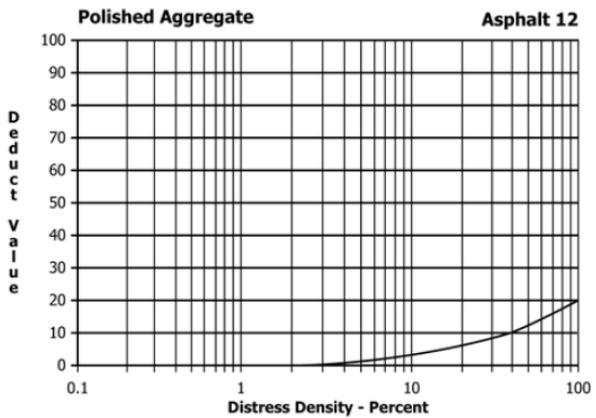
Falla 9. Desnivel carril/berma (unidades metricas)



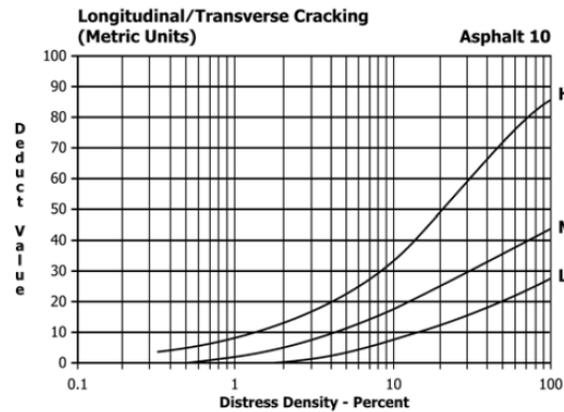
Falla 11. Parcheo



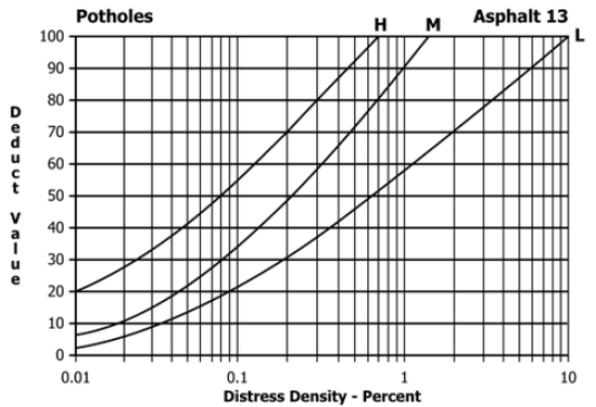
Falla 10. Greitas longitudinales/transversales



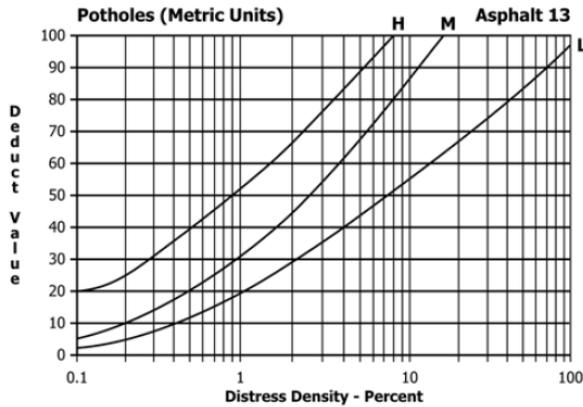
Falla 12. Pulimento de agregados



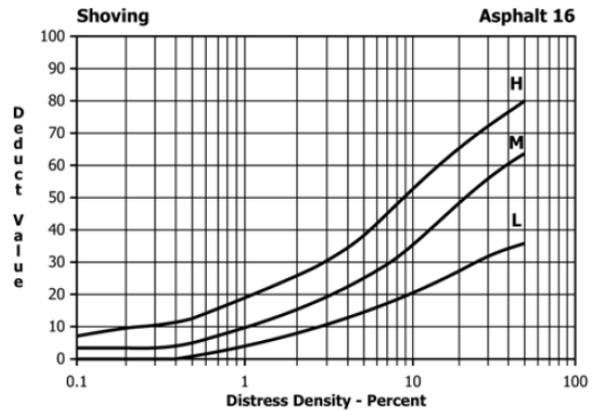
Falla 10. Greitas longitudinales/transversales (unidades metricas)



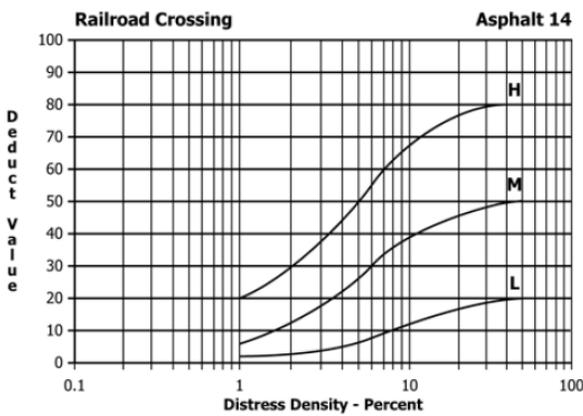
Falla 13. Huecos



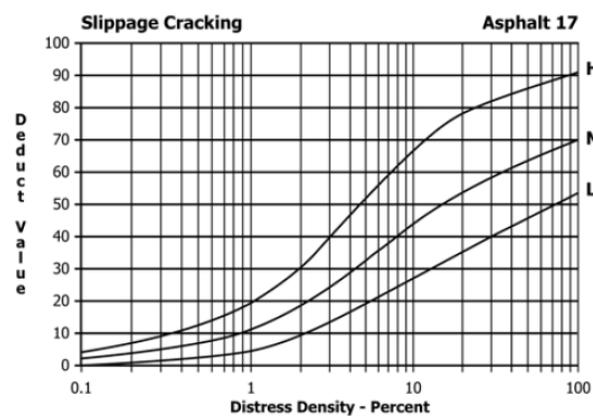
Falla 13. Huecos (unidades metricas)



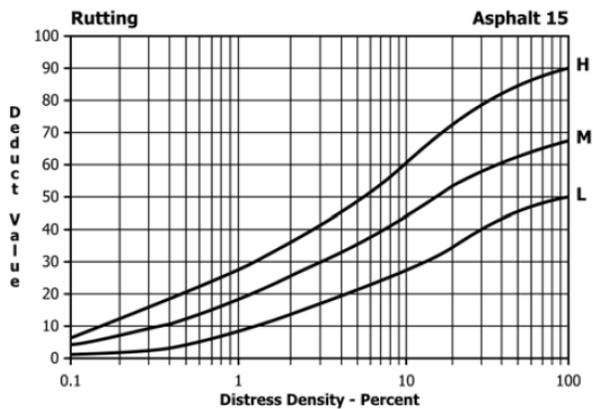
Falla 16. Desplazamiento



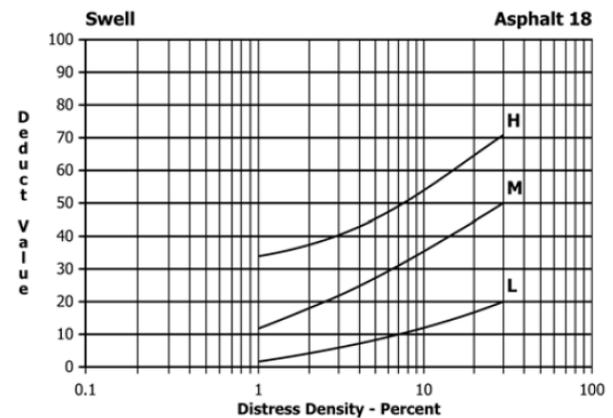
Falla 14. Cruce de via ferrea



Falla 17. Grieta parabolica



Falla 15. Ahuellamiento



Falla 18. Hichamiento

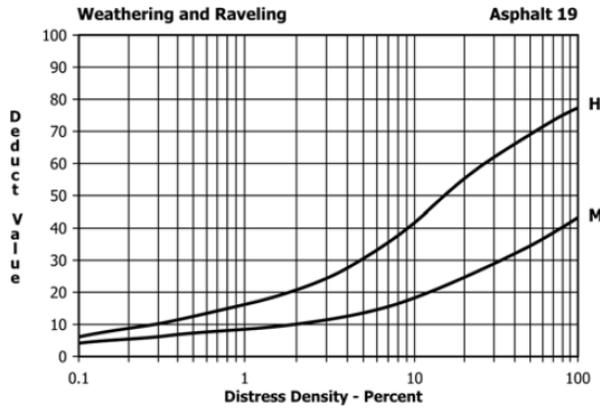


FIG. X3.25 Raveling

Falla 19. Desprendimiento de agregados

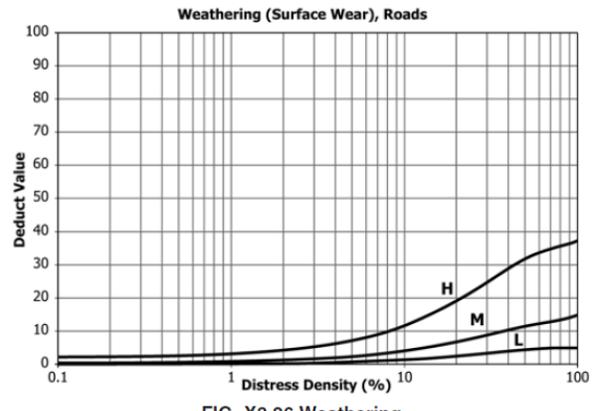


FIG. X3.26 Weathering

Falla 19. Desgaste superficie



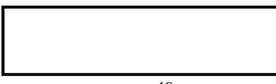
Anexo 2

Hojas de reporte de los ensayos de desempeño funcional PCI de la Vía Ricaurte - Llacao

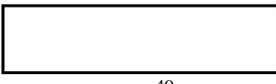
Muestra 1													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema		
Zona	Puente Llacao - Ricaurte		Abscisa inicial	0+000		Unidad de muestreo	1		5.6  5.6		40		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+040		Área de muestreo m²	224						
Fecha	12/8/2020												
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Giretas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
19	M	16	16	24							56	25.00%	7
13	L	4									4	1.79%	27
5	L	18	18	3.4							39.4	17.59%	17
19	L	10									10	4.46%	1
7	M	1.9									1.9	0.85%	6
7	H	2.2									2.2	0.98%	9
13	M	1									1	0.45%	18
											PCI	Clasificación	
											56	Bueno	
Numero permitido de deducciones		7.7041		>		7							
m=		7											
Factor al ultimo		1											

N°	Valores deducidos									VDT	q	VDC
1	27	18	17	9	7	6	1			85	6	40
2	27	18	17	9	7	2	1			81	5	42
3	27	18	17	9	2	2	1			76	4	43
4	27	18	17	2	2	2	1			69	3	44
5	27	18	2	2	2	2	1			54	2	40
6	27	2	2	2	2	2	1			38	1	37.5
7												
											Max VDC	44
											PCI(100-MaxVDC)	56



Muestra 2										Esquema		
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										6.4  6.3		
Zona	Puente Llacao - Ricaurte		Abscisa inicial	0+080		Unidad de muestreo	2					
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+120		Area de muestreo m²	254					
						Fecha	12/8/2020			40		
1. Piel de cocodrilo (m²)		6. Depresión (m²)			11. Parqueo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)		7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)		10. Grietas long / trasversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	7.45	4.36	2.68	3.9	2.56				20.95	8.25%	3
19	L	40	36							76	29.92%	4
										PCI		Clasificación
Numero permitido de deducciones										94	Excelente	
m=										2		
Factor al ultimo										1		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	4	3							7	2	-
2	4	2							6	1	6
3											
4											
										Max VDC	6
										PCI(100-MaxVDC)	94

Muestra 3										Esquema		
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										5.8  6.4		
Zona	Puente Llacao - Ricaurte		Abscisa inicial	0+160		Unidad de muestreo	3					
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+200		Area de muestreo m²	244					
						Fecha	12/8/2020			40		
1. Piel de cocodrilo (m²)		6. Depresión (m²)			11. Parqueo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)		7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)		10. Grietas long / trasversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	7.5	4.5	1.7	0.09					13.79	5.65%	2
13	L	3	3							6	2.46%	33
13	M	1								1	0.41%	18
13	H	3								3	1.23%	56
19	L	4.98	17.16							22.14	9.07%	2
4	L	0.375								0.375	0.15%	0
15	M	8.73								8.73	3.58%	32
										PCI		Clasificación
Numero permitido de deducciones										21	Muy pobre	
m=										5		
Factor al ultimo										0.0408		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	56	33	32	18	2	0.0816				141.08	4	79
2	56	33	32	2	2	0.0816				125.08	3	75.5
3	56	33	2	2	2	0.0816				95.08	2	67
4	56	2	2	2	2	0.0816				64.08	1	63
5												
										Max VDC	79	
										PCI(100-MaxVDC)	21	



Muestra 4												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema	
Zona	Puente Llacao - Ricaurte		Abscisa inicial		0+240		Unidad de muestreo		4		5.7	6
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final		0+280		Area de muestreo m²		234			
							Fecha		12/8/2020			
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)							
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)							
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)							
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	8	4.8	14						26.8	11.45%	4
7	M	2.5	8							10.5	4.49%	10
7	H	2.4								2.4	1.03%	9
13	M	1								1	0.43%	18
13	H	1								1	0.43%	37
1	H	13.05								13.05	5.58%	54
5	L	4.68								4.68	2.00%	4
19	L	4.68	12	12						28.68	12.26%	2
											PCI	Clasificación
											30	Pobre

Numero permitido de deducciones	5.2245	<	8
m=	5		
Factor al ultimo	0.2245		

N°	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	54	37	18	10	9	0.898			128.9	5	67
2	54	37	18	10	2	0.898			121.9	4	69
3	54	37	18	2	2	0.898			113.9	3	70
4	54	37	2	2	2	0.898			97.90	2	68
5	54	2	2	2	2	0.898			62.90	1	62
6											
										Max VDC	70
										PCI(100-MaxVDC)	30



Muestra 5													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema		
Zona	Puente Llaeo - Ricaurte		Abscisa inicial	0+320		Unidad de muestreo	5				6.5		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+360		Area de muestreo m²	280						
						Fecha	12/8/2020						
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	1.56									1.56	0.56%	2
19	L	4.38									4.38	1.56%	1
11	M	0.9									0.9	0.32%	6
13	H	1	2								3	1.07%	52
13	L	2	8	1							11	3.93%	40
5	L	4.05									4.05	1.45%	3
10	L	1.2									1.2	0.43%	1
7	M	4.8									4.8	1.71%	7
19	M	34									34	12.14%	5

Numero permitido de deducciones	5.4082	<	9
m=	5		
Factor al ultimo	0.4082		

PCI	Clasificación
30.5	Pobre

Nº	Valores deducidos						VDT	q	VDC	
1	52	40	7	6	5	1.2245		111.22	5	58
2	52	40	7	6	2	1.2245		108.22	4	61
3	52	40	7	2	2	1.2245		104.22	3	65
4	52	40	2	2	2	1.2245		99.224	2	69.5
5	52	2	2	2	2	1.2245		61.22	1	60
6										
									Max VDC	69.5
									PCI(100-MaxVDC)	30.5



Muestra 6														
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema			
Zona		Puente Llaeo - Ricaurte		Abscisa inicial		0+400		Unidad de muestreo		6				
Encuestado por		Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final		0+440		Area de muestreo m ²		236				
								Fecha		12/8/2020				
											40			
1. Piel de cocodrilo (m ²)			6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)					
2. Exudación (m ²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)					
5. Corrugación (m ²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)								
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	M	2										2	0.85%	28
13	L	2	1									3	1.27%	23
19	M	9										9	3.81%	3
19	L	8.8	24	1.56								34.36	14.56%	2
5	L	5.4										5.4	2.29%	6
10	L	0.3										0.3	0.13%	0
7	H	3.7	1.9									5.6	2.37%	12
15	M	1										1	0.42%	12
15	L	3.15										3.15	1.33%	10
											PCI		Clasificación	
											53		Regular	

Numero permitido de deducciones	7.6122	<	9
m=	7		
Factor al ultimo	0.6122		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	28	23	12	12	10	6	3	1.2245	95.22	7	46
2	28	23	12	12	10	6	2	1.2245	94.22	6	45.5
3	28	23	12	12	10	2	2	1.2245	90.22	5	47
4	28	23	12	12	2	2	2	1.2245	82.22	4	47
5	28	23	12	2	2	2	2	1.2245	72.22	3	46
6	28	23	2	2	2	2	2	1.2245	62.22	2	45.5
7	28	2	2	2	2	2	2	1.2245	41.22	1	41
8											
										Max VDC	47
										PCI(100-MaxVDC)	53



Muestra 7												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema	
Zona	Puente Llaeo - Ricaurte		Abscisa inicial	0+480		Unidad de muestreo	7		<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> 6.5 6 </div>		6	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+520		Area de muestreo m ²	250					
						Fecha	12/8/2020					
1. Piel de cocodrilo (m ²)			6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)			
2. Exudación (m ²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)			
3. Agrietamiento en bloque (m ²)			8. Giretas de reflexion de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)			
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de via ferrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)			
5. Corrugación (m ²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)						
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	1	1	2						4	1.60%	62
19	L	3.78	21.7	40	24					89.48	35.79%	4
10	L	4.3	1.6							5.9	2.36%	1
7	H	9.1								9.1	3.64%	14
13	M	2	4							6	2.40%	48
13	L	3	1	1						5	2.00%	29
1	M	11.2								11.2	4.48%	22
15	L	19	8.9							27.9	11.16%	28
											PCI	Clasificación
											10	Fallado

Numero permitido de deducciones	4.4898	<	8
m=	4		
Factor al ultimo	0.4898		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	62	48	29	28	10.776				177.78	5	87.5	
2	62	48	29	28	2				169	4	90	
3	62	48	29	2	2				143	3	85	
4	62	48	2	2	2				116	2	78.5	
5	62	2	2	2	2				70	1	69	
6												
											Max VDC	90
											PCI(100-MaxVDC)	10



Muestra 8												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										Esquema		
Zona	Puente Llacao - Ricaurte			Abscisa inicial	0+560		Unidad de muestreo	8			6	7.6
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	0+600		Area de muestreo m ²	272				
							Fecha	12/8/2020				
1. Piel de cocodrilo (m ²)			6. Depresión (m ²)			11. Parqueo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)			
2. Exudación (m ²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)			
3. Agrietamiento en bloque (m ²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)			
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)			
5. Corrugación (m ²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)						
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	L	1	1	2						4	1.47%	24
19	L	32								32	11.76%	2
2	L	0.75	30							30.75	11.31%	4
10	L	3.1								3.1	1.14%	0
13	M	1	4							5	1.84%	43
13	H	1	1	1						3	1.10%	55
5	L	3	6.96							9.96	3.66%	7
1	L	0.48								0.48	0.18%	4
											PCI	Clasificación
Numero permitido de deducciones										5.1327	<	8
m=										5		
Factor al ultimo										0.1327		
											24	Muy pobre

Nº	Valores deducidos							VDT	q	VDC	
1	55	43	24	7	4	0.531		133.53	5	69	
2	55	43	24	7	2	0.531		131.53	4	74	
3	55	43	24	2	2	0.531		126.53	3	76	
4	55	43	2	2	2	0.531		104.53	2	72.5	
5	55	2	2	2	2	0.531		63.531	1	62.5	
6											
Max VDC										76	
PCI(100-MaxVDC)										24	



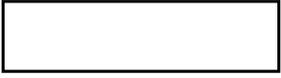
Muestra 9												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										Esquema		
Zona		Puente Llacao - Ricaurte		Abscisa inicial		0+640		Unidad de muestreo		9		
Encuestado por		Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final		0+680		Area de muestreo m²		238		
								Fecha		13/8/2020		
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)			
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)			
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)			
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)			
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)						
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	L	1	1						2	0.84%	17	
1	L	0.72							0.72	0.30%	5	
7	M	7.4	5						12.4	5.21%	10	
15	L	14.3							14.3	6.01%	23	
19	L	32	40						72	30.25%	3.5	
13	H	1							1	0.42%	36	
7	L	2.1	2	4					8.1	3.40%	4	
										PCI	Clasificación	
Numero permitido de deducciones										6.8776	<	7
m=										6		
Factor al ultimo										0.8776		
										47	Regular	

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	36	23	17	10	5	4	3.0714		98.071	7	47.5
2	36	23	17	10	5	4	2		97	6	47
3	36	23	17	10	5	2	2		95	5	49.5
4	36	23	17	10	2	2	2		92	4	52.5
5	36	23	17	2	2	2	2		84	3	53
6	36	23	2	2	2	2	2		69	2	50
7	36	2	2	2	2	2	2		48	1	47.5
8											
										Max VDC	53
										PCI(100-MaxVDC)	47



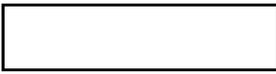
Muestra 10															
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema				
Zona	Puente Llacao - Ricaurte		Abscisa inicial	0+720		Unidad de muestreo	10		6.5  6.5		40				
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+760		Área de muestreo m²	260								
Fecha	13/8/2020														
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)		18. Hinchamiento (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)				
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		13. Huecos (m²)		14. Cruce de vía férrea (m²)		15. Ahuellamiento (m²)						
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexión de junta (m)														
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)														
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / transversal (m)														
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir	
13	H	1	1	1	1							4	1.54%	60	
13	M	3	3									6	2.31%	48	
19	L	36	40									76	29.23%	3	
13	L	3										3	1.15%	22	
15	M	8.16										8.16	3.14%	31	
4	L	6.6										6.6	2.54%	7	
Numero permitido de deducciones											4.6735	<	6	PCI	Clasificación
m=											4			9	Fallado
Factor al ultimo											0.6735				

Nº	Valores deducidos										VDT	q	VDC
1	60	48	31	22	4.7143						165.71	5	83
2	60	48	31	22	2						163	4	88
3	60	48	31	2	2						143	3	91
4	60	48	2	2	2						114	2	77.5
5	60	2	2	2	2						68	1	67
6													
											Max VDC		91
											PCI(100-MaxVDC)		9

Muestra 11															
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema				
Zona	Puente Llacao - Ricaurte		Abscisa inicial	0+800		Unidad de muestreo	11		5.7  5.6		40				
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+840		Área de muestreo m²	226								
Fecha	13/8/2020														
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)		18. Hinchamiento (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)				
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		13. Huecos (m²)		14. Cruce de vía férrea (m²)		15. Ahuellamiento (m²)						
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexión de junta (m)														
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)														
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / transversal (m)														
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir	
13	H	2										2	0.88%	8	
19	L	24	36	36								96	42.48%	4	
5	L	3.3										3.3	1.46%	3	
Numero permitido de deducciones											9.449	>	3	PCI	Clasificación
m=											3			88	Excelente
Factor al ultimo											1				

Nº	Valores deducidos										VDT	q	VDC
1	8	4	3								15	3	9
2	8	4	2								14	2	9
3	8	2	2								12	1	12
4													
5													
											Max VDC		12
											PCI(100-MaxVDC)		88



Muestra 12														
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema			
Zona	Puente Llacao - Ricaurte		Abscisa inicial	0+880		Unidad de muestreo	12		5.6  5.5		40			
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+920		Área de muestreo m²	222							
						Fecha	12/8/2020							
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)									
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)									
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)									
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)									
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)											
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir
11	L	6.125										6.125	2.76%	8
13	L	1										1	0.45%	10.2
7	L	2.3										2.3	1.04%	3
1	M	2.31	3.15									5.46	2.46%	18.5
13	M	1	1	1								3	1.35%	35
10	L	3.5										3.5	1.58%	0
19	L	24	40									64	28.83%	5
15	L	9										9	4.05%	20
												PCI	Clasificación	
												48	Regular	

Numero permitido de deducciones	6.9694	<	8
m=	6		
Factor al ultimo	0.9694		

Nº	Valores deducidos										VDT	q	VDC
1	35	20	19	10	8	5	3				99.608	7	48
2	35	20	18.5	10.2	8	5	2				98.7	6	48
3	35	20	18.5	10.2	8	2	2				95.7	5	48
4	35	20	18.5	10.2	2	2	2				89.7	4	52
5	35	20	18.5	2	2	2	2				81.5	3	52
6	35	20	2	2	2	2	2				65	2	48
7	35	2	2	2	2	2	2				47	1	46
8													
												Max VDC	52
												PCI(100-MaxVDC)	48



Muestra 13												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica								Esquema				
Zona	Puente Llaaco - Ricaurte	Abscisa inicial	0+960	Unidad de muestreo	13	6.2  5.9		40				
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón	Abscisa final	1+000	Área de muestreo m²	242							
				Fecha	12/8/2020							
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)	11. Parcheo (m²)	16. Desplazamiento (m²)									
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)	12. Pulimento de agregados (m²)	17. Grieta parabólica (slippage) (m²)									
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)	13. Huecos (m²)	18. Hinchamiento (m²)									
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)	14. Cruce de vía férrea (m²)	19. Desprendimiento de agregados (m²)									
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)	15. Ahuellamiento (m²)										
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	1	1	2					4	1.65%	60	
13	M	1	1	1					3	1.24%	34	
4	M	7.3							7.3	3.02%	21	
13	L	1							1	0.41%	10	
7	H	3							3	1.24%	10	
19	L	60	20						80	33.06%	3	
5	L	1.4							1.4	0.58%	1	
15	M	8.28							8.28	3.42%	31	
15	L	4.425							4.425	1.83%	13	
Numero permitido de deducciones								4.6735	<	9	PCI	Clasificación
m=								4			18	Muy pobre
Factor al ultimo								0.6735				

Nº	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	60	34	31	21	9		154.76	5	78
2	60	34	31	21	2		148	4	82
3	60	34	31	2	2		129	3	78
4	60	34	2	2	2		100	2	71
5	60	2	2	2	2		68	1	68
6									
Max VDC									82
PCI(100-MaxVDC)									18

Muestra 14												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica								Esquema				
Zona	Puente Llaaco - Ricaurte	Abscisa inicial	1+040	Unidad de muestreo	14	5.6  5.6		40				
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón	Abscisa final	1+080	Área de muestreo m²	224							
				Fecha	12/8/2020							
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)	11. Parcheo (m²)	16. Desplazamiento (m²)									
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)	12. Pulimento de agregados (m²)	17. Grieta parabólica (slippage) (m²)									
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)	13. Huecos (m²)	18. Hinchamiento (m²)									
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)	14. Cruce de vía férrea (m²)	19. Desprendimiento de agregados (m²)									
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)	15. Ahuellamiento (m²)										
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	L	6							6	2.68%	35	
19	L	12	28						40	17.86%	22	
15	L	11.25							11.25	5.02%	3	
Numero permitido de deducciones								6.9694	>	3	PCI	Clasificación
m=								3			55	Regular
Factor al ultimo								1				

Nº	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	35	22	3				60	3	39
2	35	22	2				59	2	45
3	35	2	2				39	1	39
4									
5									
Max VDC									45
PCI(100-MaxVDC)									55



Muestra 17													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema		
Zona Puente Llaeo - Ricaurte											6.9  6.4		
Encuestado por Ronald Plaza y Jonny Garzón													
Fecha 12/8/2020													
Abscisa inicial 1+280			Abscisa final 1+320			Unidad de muestreo 17			Área de muestreo m² 266			40	
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / transversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	L	4									4	1.50%	25
13	M	1									1	0.38%	18
13	H	3									3	1.13%	53
19	L	12									12	4.51%	0.5
15	L	15.24									15.24	5.73%	22
7	H	8	3.5								11.5	4.32%	15
											PCI		Clasificación
Numero permitido de deducciones 5.3163 < 6											31		Pobre

Numero permitido de deducciones	5.3163	<	6
m=	5		
Factor al ultimo	0.3163		

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC	
1	53	25	22	18	15	0.1582				133.16	5	69	
2	53	25	22	18	2	0.1582				120.16	4	68	
3	53	25	22	2	2	0.1582				104.16	3	65	
4	53	25	2	2	2	0.1582				84.158	2	60	
5	53	2	2	2	2	0.1582				61.158	1	61	
6													
											Max VDC		69
											PCI(100-MaxVDC)		31



Muestra 18														
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema			
Zona			Puente Llaeo - Ricaurte		Abscisa inicial		1+360		Unidad de muestreo		18			
Encuestado por			Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final		1+400		Área de muestreo m ²		248			
										Fecha		12/8/2020		
											6.7		5.7	
											40			
1. Piel de cocodrilo (m ²)			6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)					
2. Exudación (m ²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)					
5. Corrugación (m ²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)								
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	1	1									2	0.81%	49
13	M	1	1									2	0.81%	28
13	L	1	2	1	1							5	2.02%	30
7	H	10.3										10.3	4.15%	16
1	M	6.16										6.16	2.48%	30
19	L	12										12	4.84%	0.5
11	M	4.56										4.56	1.84%	13
15	L	1.68										1.68	0.68%	6
											PCI		Clasificación	
Numero permitido de deducciones											5.6837		<	8
m=													5	
Factor al ultimo											0.6837			
											21		Muy pobre	

N°	Valores deducidos										VDI	q	VDC
1	49	30	30	28	16	0.0					153	6	78
2	49	30	30	28	16	2					155	5	78
3	49	30	30	28	2	2					141	4	79
4	49	30	30	2	2	2					115	3	70
5	49	30	2	2	2	2					87	2	62
6	49	2	2	2	2	2					59	1	59
7													
											Max VDC		79
											PCI(100-MaxVDC)		21



Muestra 19										Esquema		
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 40px; margin: 0 auto;"></div>		
Zona	Puente Llaqueo - Ricaurte		Abscisa inicial	1+440	Unidad de muestreo	19						
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+480	Área de muestreo m ²	254						
					Fecha	12/8/2020						
										40		
1. Piel de cocodrilo (m ²)		6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)				
2. Exudación (m ²)		7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)				
3. Agrietamiento en bloque (m ²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)				
5. Corrugación (m ²)		10. Grietas long / trasversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)							
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	M	4								4	1.57%	37
4	M	4.9								4.9	1.93%	18
19	L	24	12							36	14.17%	2
4	L	10.7								10.7	4.21%	9.5
13	L	2								2	0.79%	18
										PCI		Clasificación
										51		Regular

Numero permitido de deducciones	6.7857	>	5
m=	5		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos							VDT	q	VDC	
1	37	18	18	9.5	2			84.5	4	49	
2	37	18	18	2	2			77	3	44	
3	37	18	2	2	2			61	2	45	
4	37	2	2	2	2			45	1	45	
5											
										Max VDC	49
										PCI(100-MaxVDC)	51

Muestra 20										Esquema		
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 40px; margin: 0 auto;"></div>		
Zona	Puente Llaqueo - Ricaurte		Abscisa inicial	1+520	Unidad de muestreo	20						
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+560	Área de muestreo m ²	246						
					Fecha	12/8/2020						
										40		
1. Piel de cocodrilo (m ²)		6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)				
2. Exudación (m ²)		7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)				
3. Agrietamiento en bloque (m ²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)				
5. Corrugación (m ²)		10. Grietas long / trasversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)							
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
19	L	39.9	28	31.5						99.4	40.41%	4.5
19	M	12.6								12.6	5.12%	3
10	H	7	4.2							11.2	4.55%	21
13	M	6	1							7	2.85%	53
13	L	2	1							3	1.22%	20
13	H	2								2	0.81%	49
7	H	0.6								0.6	0.24%	0
7	M	4.1								4.1	1.67%	7
7	L	2.3								2.3	0.93%	1
										PCI		Clasificación
										20		Muy pobre

Numero permitido de deducciones	5.3163	<	9
m=	5		
Factor al ultimo	0.3163		

Nº	Valores deducidos							VDT	q	VDC	
1	53	49	21	20	7	1.4		151.42	5	78	
2	53	49	21	20	2	1.4		146.42	4	80	
3	53	49	21	2	2	1.4		128.42	3	78	
4	53	49	2	2	2	1.4		109.42	2	76	
5	53	2	2	2	2	1.4		62.423	1	62	
6											
										Max VDC	80
										PCI(100-MaxVDC)	20



Muestra 21										Esquema			
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 40px; margin: 0 auto;"></div>			
Zona	Puente Llaaco - Ricaurte		Abscisa inicial	1+600		Unidad de muestreo	21						
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+640		Área de muestreo m ²	258						
							Fecha	12/8/2020		40			
1. Piel de cocodrilo (m ²)		6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)					
2. Exudación (m ²)		7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / bermá (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)					
5. Corrugación (m ²)		10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)								
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir	
13	M	2								2	0.78%	28	
13	L	1								1	0.39%	10	
4	L	11.9								11.9	4.61%	9.5	
19	M	36								36	13.95%	6	
5	L	1.75								1.75	0.68%	1	
19	L	20								20	7.75%	1	
										PCI	Clasificación		
										64	Bueno		
Numero permitido de deducciones		7.6122	>							6			
m=										6			
Factor al ultimo										1			

N°	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	28	10	9.5	6	1	1			55.5	4	30
2	28	10	9.5	2	1	1			51.5	3	32
3	28	10	2	2	1	1			44	2	33
4	28	2	2	2	1	1			36	1	36
5											
										Max VDC	36
										PCI(100-MaxVDC)	64

Muestra 22										Esquema			
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 40px; margin: 0 auto;"></div>			
Zona	Puente Llaaco - Ricaurte		Abscisa inicial	0+040		Unidad de muestreo	22						
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+080		Área de muestreo m ²	236						
							Fecha	8/17/2020		40			
1. Piel de cocodrilo (m ²)		6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)					
2. Exudación (m ²)		7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / bermá (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)					
5. Corrugación (m ²)		10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)								
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir	
19	L	0.44	40	24						64.44	27.31%	4	
5	L	0.8								0.8	0.34%	1	
11	L	3.25								3.25	1.38%	2	
13	L	1								1	0.42%	10	
15	L	6.51	16							22.51	9.54%	27	
										PCI	Clasificación		
										66	Bueno		
Numero permitido de deducciones		7.7041	>							5			
m=										5			
Factor al ultimo										1			

N°	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	27	10	4	2	1				44	3	28
2	27	10	2	2	1				42	2	33
3	27	2	2	2	1				34	1	34
4											
5											
										Max VDC	34
										PCI(100-MaxVDC)	66



Muestra 23													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica								Esquema					
Zona	Puente Llacao - Ricaurte			Abscisa inicial	0+200		Unidad de muestreo	23					
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	0+240		Area de muestreo m ²	224					
							Fecha	8/17/2020					
1. Piel de cocodrilo (m ²)		6. Depresión (m ²)		11. Parqueo (m ²)		16. Desplazamiento (m ²)		5.1 					
2. Exudación (m ²)		7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m ²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m ²)		6.1					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)		8. Grietas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m ²)		18. Hinchamiento (m ²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m ²)		19. Desprendimiento de agregados (m ²)							
5. Corrugación (m ²)		10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m ²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir	
13	M	2	3							5	2.23%	46	
13	L	1	1							2	0.89%	19	
15	L	7.63	3.84							11.47	5.12%	20.5	
5	L	13.8								13.8	6.16%	8	
19	L	40	24							64	28.57%	3	
13	H	1								1	0.45%	36	
											PCI	Clasificación	
Numero permitido de deducciones											5.9592	<	6
m=											5		
Factor al ultimo											0.9592		
											30	Pobre	

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	46	36	20.5	19	8	3			132.38	6	64	
2	46	36	20.5	19	8	2			131.5	5	68	
3	46	36	20.5	19	2	2			125.5	4	70	
4	46	36	20.5	2	2	2			108.5	3	67	
5	46	36	2	2	2	2			90	2	64	
6	46	2	2	2	2	2						
7												
											Max VDC	70
											PCI(100-MaxVDC)	30



Muestra 24												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	Puente Llacao - Ricaurte		Abscisa inicial	0+360		Unidad de muestreo	24		<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>		7.6	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+400		Area de muestreo m²	272					
						Fecha	8/17/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)			
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabolica (slippage) (m²)			
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Grietas de reflexion de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)			
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de via ferrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)			
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)						
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
15	L	7.02								7.02	2.58%	17
19	L	40	14	24	18					96	35.29%	5
13	M	1	1							2	0.74%	28
13	H	1								1	0.37%	34
13	L	1								1	0.37%	9.5
7	H	2.1								2.1	0.77%	9
										PCI	Clasificación	
Numero permitido de deducciones										7.0612	>	6
m=										6		
Factor al ultimo										1		
										46	Regular	

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	34	28	17	9.5	9	5			102.5	6	50	
2	34	28	17	9.5	9	2			99.5	5	52	
3	34	28	17	9.5	2	2			92.5	4	52	
4	34	28	17	2	2	2			85	3	54	
5	34	28	2	2	2	2			70	2	50	
6	34	2	2	2	2	2			44	1	44	
7												
										Max VDC	54	
										PCI(100-MaxVDC)	46	



Muestra 25													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona Puente Llaeo - Ricaurte			Abscisa inicial 0+520		Unidad de muestreo 25			6.5		6.5			
Encuestado por Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final 0+560		Area de muestreo m² 260			40					
Fecha 8/17/2020													
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabolica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Giretas de reflexion de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de via ferrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	1									1	0.38%	36
13	M	2	1								3	1.15%	33
1	L	6	1								7	2.69%	19
19	L	32									32	12.31%	1
2	L	16									16	6.15%	2
15	L	4.62									4.62	1.78%	13
											PCI		Clasificación
Numero permitido de deducciones 6.8776 > 6											41		Regular
m= 6													
Factor al ultimo 1													

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC	
1	36	33	19	13	2	1				104	4	55	
2	36	33	19	2	2	1				93	3	59	
3	36	33	2	2	2	1				76	2	55	
4	36	2	2	2	2	1				45	1	45	
5													
											Max VDC		59
											PCI(100-MaxVDC)		41



Muestra 26													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona Puente Llaeo - Ricaurte			Abscisa inicial 0+680		Unidad de muestreo 26		6.5				5.8		
Encuestado por Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final 0+720		Area de muestreo m² 246								
					Fecha 8/17/2020						40		
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabolica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Giretas de reflexion de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de via ferrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	1	1								2	0.81%	48
13	M	1	5								6	2.44%	49
19	L	56	32								88	35.77%	4.5
13	L	2									2	0.81%	17
7	H	5.2									5.2	2.11%	11
											PCI	Clasificación	
Numero permitido de deducciones 5.6837 > 5											28	Pobre	
m= 5													
Factor al ultimo 1													

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC
1	49	48	17	11	4.5					129.5	5	68
2	49	48	17	11	2					127	4	72
3	49	48	17	2	2					118	3	72
4	49	48	2	2	2					103	2	72
5	49	2	2	2	2					57	1	57
6												
											Max VDC	72
											PCI(100-MaxVDC)	28



Muestra 27											
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										Esquema	
Zona	Puente Llacao - Ricaurte			Abscisa inicial	0+840		Unidad de muestreo	27		5.5	5.6
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	0+880		Área de muestreo m ²	222			
							Fecha	8/17/2020			
1. Piel de cocodrilo (m ²)	6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)				
2. Exudación (m ²)	7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)				
3. Agrietamiento en bloque (m ²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)				
5. Corrugación (m ²)	10. Grietas long / transversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)							
Daño	Severidad	Cantidad							Total	Densidad (%)	Valor de deducir
19	L	68	24						92	41.44%	4.5
15	L	4							4	1.80%	12
13	M	1	1						2	0.90%	28
13	L	1	1	1					3	1.35%	55
7	M	9.7							9.7	4.37%	9
										PCI	Clasificación
										36	Pobre
Numero permitido de deducciones		5.1327	>	5							
m=		5									
Factor al ultimo		1									

Nº	Valores deducidos							VDT	q	VDC
1	55	28	12	9	4.5			108.5	5	57
2	55	28	12	9	2			106	4	60
3	55	28	12	2	2			99	3	62
4	55	28	2	2	2			89	2	64
5	55	2	2	2	2			63	1	62
6										
Max VDC										64
PCI(100-MaxVDC)										36

Muestra 28											
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										Esquema	
Zona	Puente Llacao - Ricaurte			Abscisa inicial	1+000		Unidad de muestreo	28		5.6	5.9
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	1+040		Área de muestreo m ²	230			
							Fecha	8/17/2020			
1. Piel de cocodrilo (m ²)	6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)				
2. Exudación (m ²)	7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)				
3. Agrietamiento en bloque (m ²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)				
5. Corrugación (m ²)	10. Grietas long / transversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)							
Daño	Severidad	Cantidad							Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	M	2	1	2	1				6	2.61%	50
7	H	3.2	3.8						7	3.04%	12
13	L	2	1	1					4	1.74%	26
13	H	2	1	1	1				5	2.17%	68
										PCI	Clasificación
										15	Muy pobre
Numero permitido de deducciones		3.9388	<	4							
m=		3									
Factor al ultimo		0.9388									

Nº	Valores deducidos							VDT	q	VDC
1	68	50	26	11.265				155.27	4	85
2	68	50	26	2				146	3	85
3	68	50	2	2				122	2	82
4	68	2	2	2				74	1	74
5										
Max VDC										85
PCI(100-MaxVDC)										15



Muestra 29												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										Esquema		
Zona	Puente Llaqueo - Ricaurte			Abscisa inicial	1+160		Unidad de muestreo	29			5.7	6
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	1+200		Área de muestreo m ²	234				
							Fecha	8/17/2020				
1. Piel de cocodrilo (m ²)	6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)					
2. Exudación (m ²)	7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)					
5. Corrugación (m ²)	10. Grietas long / transversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)								
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
19	L	36	28							64	27.35%	3
7	H	4.5								4.5	1.92%	11
13	H	1								1	0.43%	38
13	M	1	1							2	0.85%	29
13	L	5								5	2.14%	30
										PCI	Clasificación	
										40	Pobre	

Numero permitido de deducciones	6.6939	>	5
m=	5		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	38	30	29	11	3				111	5	57
2	38	30	29	11	2				110	4	60
3	38	30	29	2	2				101	3	60
4	38	30	2	2	2				74	2	53
5	38	2	2	2	2				46	1	44
6											
										Max VDC	60
										PCI(100-MaxVDC)	40

Muestra 30												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										Esquema		
Zona	Puente Llaqueo - Ricaurte			Abscisa inicial	1+320		Unidad de muestreo	30			6.4	6.7
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	1+360		Área de muestreo m ²	262				
							Fecha	8/17/2020				
1. Piel de cocodrilo (m ²)	6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)					
2. Exudación (m ²)	7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)					
5. Corrugación (m ²)	10. Grietas long / transversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)								
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	M	1								1	0.38%	18
7	H	3.3								3.3	1.26%	11
19	L	24	12							36	13.74%	2
13	L	2	1							3	1.15%	20.5
15	L	10.2								10.2	3.89%	29.5
										PCI	Clasificación	
										53	Regular	

Numero permitido de deducciones	7.4745	>	5
m=	5		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	29.5	20.5	18	11	2				81	4	47
2	29.5	20.5	18	2	2				72	3	46
3	29.5	20.5	2	2	2				56	2	41
4	29.5	2	2	2	2				37.5	1	37.5
5											
										Max VDC	47
										PCI(100-MaxVDC)	53



Muestra 31												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema	
Zona Puente Llaeo - Ricaurte			Abscisa inicial 1+480		Unidad de muestreo 31			6.3		6.4		
Encuestado por Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final 1+520		Área de muestreo m² 254			40				
Fecha 8/17/2020												
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)			
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)			
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Giretas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)			
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)			
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)						
Daño	Severidad	Cantidad							Total	Densidad (%)	Valor de deducir	
11	L	5.376						5.376	2.12%	6		
13	H	1						1	0.39%	36		
13	M	1	1					2	0.79%	28		
13	L	1						1	0.39%	10		
2	M	0.16						0.16	0.06%	1		
19	L	24	28					52	20.47%	4		
									PCI	Clasificación		
Numero permitido de deducciones 6.8776 > 6									48	Regular		
m=									6			
Factor al ultimo									1			

N°	Valores deducidos							VDT	q	VDC
1	36	28	10	6	4	1		85	5	44
2	36	28	10	6	2	1		83	4	47
3	36	28	10	2	2	1		79	3	50
4	36	28	2	2	2	1		71	2	52
5	36	2	2	2	2	1		45	1	45
6										
									Max VDC	52
									PCI(100-MaxVDC)	48



Anexo 3

Hojas de reporte de los ensayos de desempeño funcional PCI de la Vía Monay – El Despacho – El Valle

Muestra 1												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										Esquema		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+000		Unidad de muestreo	1			7.4		7.8
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+030		Area de muestreo m²	228					
			Fecha	18/8/2020								
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)						
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)						
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)						
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)						
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / transversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad (m²)								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	4								4	1.75%	62
1	H	3.04								3.04	1.33%	34
1	M	3.8								3.8	1.67%	26
7	H	2.6								2.6	1.14%	9
19	M	26.18	10.5							36.68	16.09%	16
13	L	1	1							2	0.88%	17
13	M	1	1							2	0.88%	28
15	L	10.8								10.8	4.74%	20
											PCI	Clasificación
Numero permitido de deducciones										4.4898	<	8
m=										4		
Factor al ultimo										0.4898		
											16	Muy pobre

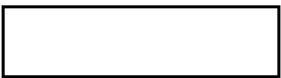
Nº	Valores deducidos						VDT	q	VDC	
1	62	34	26	28	12.735			162.73	5	82
2	62	34	26	28	2			152	4	84
3	62	34	26	2	2			126	3	76
4	62	34	2	2	2			102	2	71
5	62	2	2	2	2			70	1	69
6										
									Max VDC	84
									PCI(100-MaxVDC)	16



Muestra 2														
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema			
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+060		Unidad de muestreo	2		6.7  6.7		30			
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+090		Area de muestreo m ²	201							
						Fecha	18/8/2020							
1. Piel de cocodrilo (m ²)	6. Depresión (m ²)		11. Parcheo (m ²)		16. Desplazamiento (m ²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)		18. Hinchamiento (m ²)		19. Desprendimiento de agregados (m ²)			
2. Exudación (m ²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m ²)		13. Huecos (m ²)		14. Cruce de vía férrea (m ²)		15. Ahuellamiento (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)													
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)													
5. Corrugación (m ²)	10. Grietas long / transversal (m)													
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	1										1	0.50%	39
7	M	2.1										2.1	1.04%	6
7	H	2.2										2.2	1.09%	9
4	L	1.3										1.3	0.65%	2
6	M	4.42										4.42	2.20%	12
19	L	24										24	11.94%	2
6	L	4.55										4.55	2.26%	6
											PCI	Clasificación		
											50	Regular		

Numero permitido de deducciones	6.602	<	7
m=	6		
Factor al ultimo	0.602		

N°	Valores deducidos										VDT	q	VDC
1	39	12	9	6	6	2	1.2041				75.204	5	38
2	39	12	9	6	2	2	1.2041				71.204	4	40
3	39	12	9	2	2	2	1.2041				67.204	3	42.5
4	39	12	2	2	2	2	1.2041				60.204	2	44
5	39	2	2	2	2	2	1.2041				50.204	1	50
6													
											Max VDC	50	
											PCI(100-MaxVDC)	50	

Muestra 3														
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema			
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+120		Unidad de muestreo	3		6.5  6.9		30			
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+150		Area de muestreo m ²	201							
						Fecha	18/8/2020							
1. Piel de cocodrilo (m ²)	6. Depresión (m ²)		11. Parcheo (m ²)		16. Desplazamiento (m ²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)		18. Hinchamiento (m ²)		19. Desprendimiento de agregados (m ²)			
2. Exudación (m ²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m ²)		13. Huecos (m ²)		14. Cruce de vía férrea (m ²)		15. Ahuellamiento (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)													
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)													
5. Corrugación (m ²)	10. Grietas long / transversal (m)													
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir
19	L	12										12	5.97%	1
7	M	3.9										3.9	1.94%	7
15	M	5.11										5.11	2.54%	25
4	L	2										2	1.00%	3
											PCI	Clasificación		
											70.5	Muy bueno		

Numero permitido de deducciones	7.8878	<	4
m=	4		
Factor al ultimo	1		

N°	Valores deducidos										VDT	q	VDC
1	25	7	3	1							36.00	3	21.5
2	25	7	2	1							35.00	2	25.5
3	25	2	2	1							30.00	1	29.5
4													
											Max VDC	29.5	
											PCI(100-MaxVDC)	70.5	



Muestra 4													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+180		Unidad de muestreo	4		6.5  6.5		30		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+210		Area de muestreo m²	195						
Fecha	18/8/2020												
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / transversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
7	M	1.8	1.7								3.5	1.79%	7
13	L	1									1	0.51%	12
19	L	4.5									4.5	2.31%	1
15	L	3.9									3.9	2.00%	14
4	L	2.3									2.3	1.18%	4
2	L	1.66									1.66	0.85%	1
											PCI		Clasificación
Numero permitido de deducciones											8.898	<	6
m=													6
Factor al ultimo													1
											77		Muy bueno

Nº	Valores deducidos							VDT	q	VDC
1	14	12	7	4	1	1		39	4	18
2	14	12	7	2	1	1		37	3	22
3	14	12	2	2	1	1		32	2	23
4	14	2	2	2	1	1		22	1	22
5										
Max VDC										23
PCI(100-MaxVDC)										77

Muestra 5													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+240		Unidad de muestreo	5		7.1  7		30		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+270		Area de muestreo m²	211.5						
Fecha	18/8/2020												
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / transversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	M	1									1	0.47%	19
7	M	17	24	0.7							41.7	19.72%	20
13	L	1									1	0.47%	11
19	L	18									18	8.51%	1
15	L	18									18	8.51%	26
											PCI		Clasificación
Numero permitido de deducciones											7.7959	>	5
m=													5
Factor al ultimo													1
											56		Bueno

Nº	Valores deducidos							VDT	q	VDC
1	26	20	19	11	1			77	4	44
2	26	20	19	2	1			68	3	43
3	26	20	2	2	1			51	2	37.5
4	26	2	2	2	1			33	1	38
5										
Max VDC										44
PCI(100-MaxVDC)										56



Muestra 6													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+300		Unidad de muestreo	6		6.5  6.5		30		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+330		Area de muestreo m²	195						
Fecha	18/8/2020												
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabolica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Giretas de reflexion de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / bermã (m)			14. Cruce de via ferrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	6	9	6							21	10.77%	4
7	H	2.4									2.4	1.23%	9
7	L	8.1									8.1	4.15%	4
15	L	15.96									15.96	8.18%	26
											PCI	Clasificación	
											68	Bueno	

Numero permitido de deducciones	7.7959	>	4
m=	4		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC
1	26	9	4	4						43.00	4	21.5
2	26	9	4	2						41.00	3	25
3	26	9	2	2						39.00	2	28.5
4	26	2	2	2						32.00	1	32
5												
											Max VDC	32
											PCI(100-MaxVDC)	68

Muestra 7													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+360		Unidad de muestreo	7		7.5  8.5		30		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+390		Area de muestreo m²	240						
Fecha	18/8/2020												
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabolica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Giretas de reflexion de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / bermã (m)			14. Cruce de via ferrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	9	18								27	11.25%	3
15	L	8.58									8.58	3.58%	18
1	M	9.49									9.49	3.95%	35
5	L	6.9									6.9	2.88%	5
											PCI	Clasificación	
											58.5	Bueno	

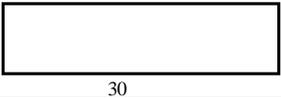
Numero permitido de deducciones	6.9694	>	4
m=	4		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC
1	35	18	5	3						61	4	34
2	35	18	5	2						60	3	38
3	35	18	2	2						57	2	41.5
4	35	2	2	2						41	1	41
5												
											Max VDC	41.5
											PCI(100-MaxVDC)	58.5



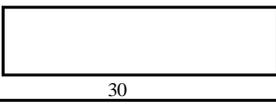
Muestra 8													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+420		Unidad de muestreo	8		7.4  7.6				
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+450		Area de muestreo m ²	225						
						Fecha	18/8/2020						
1. Piel de cocodrilo (m ²)			6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)				
2. Exudación (m ²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)				
3. Agrietamiento en bloque (m ²)			8. Giretas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)				
5. Corrugación (m ²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
7	M	2.5	5.5								8	3.56%	9
2	L	0.4	21								21.4	9.51%	3
7	H	1.1									1.1	0.49%	8
15	L	15	4.8	7							26.8	11.91%	28
19	L	6									6	2.67%	1
												PCI	Clasificación
Numero permitido de deducciones											7.6122	>	5
m=											5		
Factor al ultimo											1		
												65.5	Bueno

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC	
1	28	9	8	3	1					49	4	25.5	
2	28	9	8	2	1					48	3	30	
3	28	9	2	2	1					42	2	31	
4	28	2	2	2	1					35	1	34.5	
5													
											Max VDC		34.5
											PCI(100-MaxVDC)		65.5

Muestra 9													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+480		Unidad de muestreo	9		8  7.5				
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+510		Area de muestreo m ²	232.5						
						Fecha	18/8/2020						
1. Piel de cocodrilo (m ²)			6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)				
2. Exudación (m ²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)				
3. Agrietamiento en bloque (m ²)			8. Giretas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)				
5. Corrugación (m ²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	0.8	1.2								2	0.86%	1
6	M	40.8									40.8	17.55%	38
7	L	20									20	8.60%	6
												PCI	Clasificación
Numero permitido de deducciones											6.6939	>	3
m=											3		
Factor al ultimo											1		
												59.5	Bueno

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC	
1	38	6	1							45	2	33	
2	38	2	1							41	1	40.5	
3													
4													
											Max VDC		41
											PCI(100-MaxVDC)		59.5

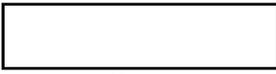


Muestra 10												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica										Esquema		
Zona	El Valle - Monay			Abscisa inicial	0+540		Unidad de muestreo	10			6.5  7.5	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	0+570		Area de muestreo m²	210				
							Fecha	18/8/2020				
1. Piel de cocodrilo (m²)		6. Depresión (m²)		11. Parqueo (m²)		16. Desplazamiento (m²)						
2. Exudación (m²)		7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)						
3. Agrietamiento en bloque (m²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)						
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)						
5. Corrugación (m²)		10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)								
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	2								2	0.95%	19
13	M	1								1	0.48%	18
19	M	27								27	12.86%	4
13	L	3	1							4	1.90%	27
19	L	1.43	0.42							1.85	0.88%	1
5	L	10.78								10.78	5.13%	8
											PCI	Clasificación
											56	Bueno

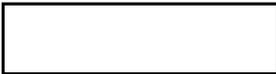
Numero permitido de deducciones	7.7041	>	6
m=	6		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	27	19	18	8	4	1			77	5	39.5
2	27	19	18	8	2	1			75	4	42.5
3	27	19	18	2	2	1			69	3	44
4	27	19	2	2	2	1			53	2	39
5	27	2	2	2	2	1			36	1	35.5
6											
										Max VDC	44
										PCI(100-MaxVDC)	56



Muestra 11														
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema			
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+600		Unidad de muestreo	11		7.5  7.3		30			
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+630		Area de muestreo m²	222							
Fecha	18/8/2020													
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m²)		18. Hinchamiento (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)			
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		13. Huecos (m²)		14. Cruce de via ferrea (m²)		15. Ahuellamiento (m²)					
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexion de junta (m)													
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)													
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)													
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	2	1									3	1.35%	54
13	M	1	1									2	0.90%	29
13	L	1										1	0.45%	11
6	M	5.46										5.46	2.46%	13
15	M	9										9	4.05%	33
15	L	3.6										3.6	1.62%	13
7	H	4.3										4.3	1.94%	11
											PCI		Clasificación	
											25		Muy pobre	
Numero permitido de deducciones			5.2245	<	7									
m=			5											
Factor al ultimo			0.2245											

Nº	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	54	33	29	13	13	2.4694	144.47	6	70
2	54	33	29	13	13	2	144	5	74
3	54	33	29	13	2	2	133	4	75
4	54	33	29	2	2	2	122	3	74
5	54	33	2	2	2	2	95	2	67
6	54	2	2	2	2	2	64	1	63
7									
								Max VDC	75
								PCI(100-MaxVDC)	25

Muestra 12														
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema			
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+660		Unidad de muestreo	12		7.3  6.8		30			
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+690		Area de muestreo m²	211.5							
Fecha	18/8/2020													
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m²)		18. Hinchamiento (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)			
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		13. Huecos (m²)		14. Cruce de via ferrea (m²)		15. Ahuellamiento (m²)					
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexion de junta (m)													
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)													
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)													
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir
6	L	16.48										16.48	7.79%	14
4	L	2.58										2.58	1.22%	4
2	L	1.68										1.68	0.79%	0
7	M	8.2										8.2	3.88%	9
19	L	1.64										1.64	0.78%	0
											PCI		Clasificación	
											82		Muy bueno	
Numero permitido de deducciones			8.898	>	5									
m=			5											
Factor al ultimo			1											

Nº	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	14	9	4				27	3	15
2	14	9	2				25	2	18
3	14	2	2				18	1	18
4									
								Max VDC	18
								PCI(100-MaxVDC)	82



Muestra 13												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+720		Unidad de muestreo	13		5.8  6.5		30	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+750		Area de muestreo m²	184.5					
						Fecha	18/8/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parqueo (m²)				16. Desplazamiento (m²)					
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)				17. Grieta parabolica (slippage) (m²)					
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)				18. Hinchamiento (m²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)				19. Desprendimiento de agregados (m²)					
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	0.66	0.78	4.65						6.09	3.30%	1
5	L	12.35	9.9	5.95						28.2	15.28%	17
1	M	3.28								3.28	1.78%	16
											PCI	Clasificación
											75	Muy bueno
Numero permitido de deducciones		8.6224	>	3								
m=		3										
Factor al ultimo		1										

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	17	16	1						34	2	25	
2	17	2	1						20	1	20	
3												
4												
											Max VDC	25
											PCI(100-MaxVDC)	75

Muestra 14												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+780		Unidad de muestreo	14		6.6  7.5		30	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+810		Area de muestreo m²	211.5					
						Fecha	18/8/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parqueo (m²)				16. Desplazamiento (m²)					
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)				17. Grieta parabolica (slippage) (m²)					
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)				18. Hinchamiento (m²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)				19. Desprendimiento de agregados (m²)					
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
19	L	15								15	7.09%	1
6	M	18								18	8.51%	26
											PCI	Clasificación
											74	Muy bueno
Numero permitido de deducciones		7.7959	>	2								
m=		2										
Factor al ultimo		1										

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	26	1							27	1	26	
2												
3												
4												
											Max VDC	26
											PCI(100-MaxVDC)	74



Muestra 15															
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema				
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+840		Unidad de muestreo	15		7.5	[Diagrama de Esquema]	6.9	30			
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+870		Area de muestreo m²	216								
						Fecha	18/8/2020								
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)										
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)										
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)										
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)										
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)												
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir		
13	M	1									1	0.46%	18		
4	L	0.9									0.9	0.42%	1		
19	L	15									15	6.94%	1		
15	L	5.74									5.74	2.66%	13		
5	L	4.06									4.06	1.88%	4		
Numero permitido de deducciones											8.5306	>	5	PCI	Clasificación
m=											5			74.5	Muy bueno
Factor al ultimo											1				

N°	Valores deducidos									VDT	q	VDC	
1	18	13	4	1	1					37	3	22	
2	18	13	2	1	1					35	2	25.5	
3	18	2	2	1	1					24	1	23.5	
4													
											Max VDC		25.5
											PCI(100-MaxVDC)		74.5



Muestra 16										Esquema		
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										6.7  6.7		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+900		Unidad de muestreo	16					
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+930		Area de muestreo m²	201					
						Fecha	18/8/2020			30		
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)						
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)						
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)						
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)						
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / transversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	2	1							3	1.49%	58
15	L	7.42								7.42	3.69%	18
13	L	2	1							3	1.49%	24
13	M	1	2							3	1.49%	37
10	H	2.2								2.2	1.09%	8
										PCI		Clasificación
Numero permitido de deducciones										4.8571	<	5
m=												4
Factor al ultimo												0.8571

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	58	37	24	18	6.8571				143.86	5	74	
2	58	37	24	18	2				139	4	78	
3	58	37	24	2	2				123	3	74.5	
4	58	37	2	2	2				101	2	70.5	
5	58	2	2	2	2				66	1	65	
6												
										Max VDC		78
										PCI(100-MaxVDC)		22

Muestra 17										Esquema		
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										8.6  7.4		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	0+960		Unidad de muestreo	17					
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	0+990		Area de muestreo m²	240					
						Fecha	18/8/2020			30		
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)						
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)						
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)						
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)						
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / transversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
19	L	12								12	5.00%	1
6	H	16.77								16.77	6.99%	36
										PCI		Clasificación
Numero permitido de deducciones										6.8776	>	2
m=												2
Factor al ultimo												1

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	36	1							37	1	36	
2												
3												
4												
										Max VDC		36
										PCI(100-MaxVDC)		64



Muestra 18													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	1+020		Unidad de muestreo	18		7  6.5		30		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+050		Area de muestreo m²	202.5						
						Fecha	18/8/2020						
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)								
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m²)								
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)								
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)								
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)										
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
7	M	0.8									0.8	0.40%	4
19	L	21									21	10.37%	1
15	L	4	6								10	4.94%	21
18	M	19.68									19.68	9.72%	34
											PCI	Clasificación	
											57.5	Bueno	

Numero permitido de deducciones	7.0612	>	4
m=	4		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC
1	34	21	4	1						60	3	38
2	34	21	2	1						58	2	42.5
3	34	2	2	1						39	1	38
4												
5												
											Max VDC	42.5
											PCI(100-MaxVDC)	57.5

Muestra 19													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	1+080		Unidad de muestreo	19		7  6.9		30		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+110		Area de muestreo m²	208.5						
						Fecha	18/8/2020						
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)								
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m²)								
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)								
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)								
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)										
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
6	L	4									4	1.92%	5
1	M	6.84									6.84	3.28%	33
5	M	6.84									6.84	3.28%	27
15	L	5.65									5.65	2.71%	16
18	M	6.96									6.96	3.34%	23
											PCI	Clasificación	
											42.5	Regular	

Numero permitido de deducciones	7.1531	>	5
m=	5		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC
1	33	27	23	16	5					104	5	54
2	33	27	23	16	2					101	4	57.5
3	33	27	23	2	2					87	3	55
4	33	27	2	2	2					66	2	48
5	33	2	2	2	2					41	1	40.5
6												
											Max VDC	57.5
											PCI(100-MaxVDC)	42.5



Muestra 20												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	1+140		Unidad de muestreo	20		7.2  8.3		30	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+170		Area de muestreo m²	232.5					
						Fecha	18/8/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)							
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m²)							
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)							
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
6	L	8							8	3.44%	8	
15	L	11.58							11.58	4.98%	22	
2	L	10.72							10.72	4.61%	1	
19	L	10.5	3.43						13.93	5.99%	1	
										PCI	Clasificación	
										74.5	Muy bueno	
Numero permitido de deducciones		8.1633	>	4								
m=		4										
Factor al ultimo		1										

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	22	8	1	1					32	2	23
2	22	2	1	1					26	1	25.5
3											
4											
										Max VDC	25.5
										PCI(100-MaxVDC)	74.5

Muestra 21												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+200		Unidad de muestreo	21		8  8.2		30	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+230		Area de muestreo m²	243					
						Fecha	8/19/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)							
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m²)							
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)							
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	24	51						75	30.86%	9	
6	M	25.06	7.08						32.14	13.23%	34	
7	L	2.9							2.9	1.19%	2	
4	L	0.4							0.4	0.16%	0	
										PCI	Clasificación	
										62	Bueno	
Numero permitido de deducciones		7.0612	>	4								
m=		4										
Factor al ultimo		1										

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	34	9	2	0					45	2	34
2	34	2	2	0					38	1	38
3											
4											
5											
										Max VDC	38
										PCI(100-MaxVDC)	62



Muestra 22													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+260		Unidad de muestreo	22		7.7  7.8		7.8		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+290		Area de muestreo m²	232.5						
						Fecha	8/19/2020				30		
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)								
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)								
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)								
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)								
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)										
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	42									42	18.06%	8
15	L	8.82									8.82	3.79%	18
6	L	8.58									8.58	3.69%	8
												PCI	Clasificación
Numero permitido de deducciones											8.5306	>	3
m=											3		
Factor al ultimo											1		
												78	Muy bueno

N°	Valores deducidos									VDT	q	VDC	
1	18	8	8							34	3	21	
2	18	8	2							28	2	20	
3	18	2	2							22	1	22	
4													
5													
											Max VDC		22
											PCI(100-MaxVDC)		78



Muestra 23													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema		
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+320		Unidad de muestreo	23		9.5	<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>	9	30	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+350		Area de muestreo m ²	277.5						
						Fecha	8/19/2020						
1. Piel de cocodrilo (m ²)	6. Depresión (m ²)		11. Parcheo (m ²)		16. Desplazamiento (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)					
2. Exudación (m ²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m ²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m ²)		18. Hinchamiento (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m ²)		19. Desprendimiento de agregados (m ²)								
5. Corrugación (m ²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m ²)										
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir	
11	L	13.8								13.8	4.97%	10	
13	L	1	1	1	2					5	1.80%	27	
19	L	0.9	1.2							2.1	0.76%	0	
13	H	1								1	0.36%	33	
13	M	1	1							2	0.72%	27	
5	L	8.19	20.7							28.89	10.41%	14	
19	M	7.5								7.5	2.70%	1	
15	L	5.53								5.53	1.99%	13	
											PCI	Clasificación	
Numero permitido de deducciones											7.1531	<	8
m=											7		
Factor al ultimo											0.1531		
											39		Pobre

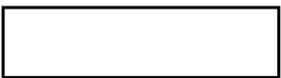
Nº	Valores deducidos									VDI	q	VDC
1	33	27	27	14	13	10	1	0		125	6	60
2	33	27	27	14	13	2	1	0		117	5	61
3	33	27	27	14	2	2	1	0		106	4	60
4	33	27	27	2	2	2	1	0		94	3	58
5	33	27	2	2	2	2	1	0		69	2	50
6	33	2	2	2	2	2	1	0		44	1	44
7												
											Max VDC	61
											PCI(100-MaxVDC)	39



Muestra 24													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+380		Unidad de muestreo	24		6.7  7.1		30		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+410		Area de muestreo m²	207						
						Fecha	8/19/2020						
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)				16. Desplazamiento (m²)						
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)				17. Grieta parabolica (slippage) (m²)						
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)				18. Hinchamiento (m²)						
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)				19. Desprendimiento de agregados (m²)						
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)										
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	30									30	14.49%	5
13	H	1									1	0.48%	50
6	M	7.7									7.7	3.72%	16
19	L	27	9	7.5							43.5	21.01%	3
4	L	0.6									0.6	0.29%	0
6	L	7.92									7.92	3.83%	8
											PCI	Clasificación	
											42	Regular	

Numero permitido de deducciones	5.5918	<	6
m=	5		
Factor al ultimo	0.5918		

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC	
1	50	16	8	5	3					82	5	42	
2	50	16	8	5	2					81	4	47	
3	50	16	8	2	2					78	3	50	
4	50	16	2	2	2					72	2	54	
5	50	2	2	2	2					58	1	58	
6													
											Max VDC	58	
											PCI(100-MaxVDC)	42	

Muestra 25													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+440		Unidad de muestreo	25		7.5  6.8		30		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+470		Area de muestreo m²	214.5						
						Fecha	8/19/2020						
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)				16. Desplazamiento (m²)						
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)				17. Grieta parabolica (slippage) (m²)						
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)				18. Hinchamiento (m²)						
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)				19. Desprendimiento de agregados (m²)						
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)										
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	13.59									13.59	6.34%	3
15	L	4.5	27								31.5	14.69%	30
5	L	2.94									2.94	1.37%	2
13	L	1	1								2	0.93%	19
7	H	0.7									0.7	0.33%	0
											PCI	Clasificación	
											61	Bueno	

Numero permitido de deducciones	7.4286	>	5
m=	5		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC	
1	30	19	3	2						54	3	35	
2	30	19	2	2						53	2	39	
3	30	2	2	2						36	1	36	
4													
											Max VDC	39	
											PCI(100-MaxVDC)	61	



Muestra 26													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+500		Unidad de muestreo	26		<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>		6.9 5.6		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+530		Area de muestreo m ²	187.5						
						Fecha	8/19/2020						
1. Piel de cocodrilo (m ²)	6. Depresión (m ²)		11. Parcheo (m ²)		16. Desplazamiento (m ²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m ²)		18. Hinchamiento (m ²)		19. Desprendimiento de agregados (m ²)		
2. Exudación (m ²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m ²)		13. Huecos (m ²)		14. Cruce de via ferrea (m ²)		15. Ahuellamiento (m ²)				
3. Agrietamiento en bloque (m ²)	8. Grietas de reflexion de junta (m)		9. Desnivel carril / berma (m)		10. Grietas long / trasnversal (m)								
4. Abultamientos y hundimientos (m)													
5. Corrugación (m ²)													
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir	
2	L	33								33	17.60%	6	
15	L	15								15	8.00%	27	
1	M	6.02								6.02	3.21%	32	
5	L	3.36	12.5							15.86	8.46%	12	
19	L	12								12	6.40%	0.5	
											PCI	Clasificación	
Numero permitido de deducciones											7.2449	>	5
m=											5		
Factor al ultimo											1		
											54	Regular	

N°	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	32	27	12	6	0.5				77.5	4	45	
2	32	27	12	2	0.5				73.5	3	46	
3	32	27	2	2	0.5				63.5	2	46	
4	32	2	2	2	0.5				38.5	1	38.5	
5												
Max VDC											46	
PCI(100-MaxVDC)											54	



Muestra 27											
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica										Esquema	
Zona	El Valle- Monay			Abscisa inicial	1+560		Unidad de muestreo	27		7.4	7.4
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	1+590		Area de muestreo m²	222			
							Fecha	8/19/2020			
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabolica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Grietas de reflexion de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de via ferrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad							Total	Densidad (%)	Valor de deducir
10	L	0.4							0.4	0.18%	0
7	M	3.6							3.6	1.62%	7
19	L	12							12	5.41%	0
6	M	4.9							4.9	2.21%	11
15	L	7.08	11.6						18.68	8.41%	27
7	L	0.5	2.6						3.1	1.40%	1
13	H	1							1	0.45%	38
2	M	1.7							1.7	0.77%	3
									PCI	Clasificación	
									48	Regular	

Numero permitido de deducciones	6.6939	<	8
m=	6		
Factor al ultimo	0.6939		

Nº	Valores deducidos							VDT	q	VDC	
1	38	27	11	7	3	1		87	5	46	
2	38	27	11	7	2	1		86	4	44	
3	38	27	11	2	2	1		81	3	44	
4	38	27	2	2	2	1		72	2	52	
5	38	2	2	2	2	1		47	1	47	
6											
									Max VDC	52	
									PCI(100-MaxVDC)	48	



Muestra 28														
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica										Esquema				
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+620		Unidad de muestreo	28			7.2		7		
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+650		Area de muestreo m²	213							
						Fecha	8/19/2020							
1. Piel de cocodrilo (m²)		6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)								
2. Exudación (m²)		7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)								
3. Agrietamiento en bloque (m²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)								
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)								
5. Corrugación (m²)		10. Grietas long / trasversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)										
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir		
2	L	18								18	8.45%	4		
13	L	1								1	0.47%	11		
15	L	21	21	18						60	28.17%	39		
19	L	12								12	5.63%	0		
4	L	3								3	1.41%	5		
											PCI	Clasificación		
Numero permitido de deducciones		6.602	>	5									55	Regular
m=		5												
Factor al ultimo		1												

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	39	11	5	4					59	4	34
2	39	11	5	2					57	3	37
3	39	11	2	2					54	2	40
4	39	2	2	2					45	1	45
5											
										Max VDC	45
										PCI(100-MaxVDC)	55



Muestra 29												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica										Esquema		
Zona		El Valle- Monay		Abscisa inicial		1+680		Unidad de muestreo		29		
Encuestado por		Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final		1+710		Area de muestreo m²		187.5		
								Fecha		8/19/2020		
										30		
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parqueo (m²)			16. Desplazamiento (m²)			
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)			
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)			
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)			
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)						
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	18							18	9.60%	4	
6	M	10.2							10.2	5.44%	19	
13	H	1	1						2	1.07%	52	
15	L	13.76							13.76	7.34%	25	
5	L	10.24							10.24	5.46%	9	
1	M	5.5							5.5	2.93%	31	
6	L	7.5							7.5	4.00%	9	
										PCI	Clasificación	
										26	Pobre	

Numero permitido de deducciones	5.4082	<	7
m=	5		
Factor al ultimo	0.4082		

N°	Valores deducidos							VDT	q	VDC	
1	52	31	25	19	9	3.6735		139.67	6	68	
2	52	31	25	19	9	2		138	5	72	
3	52	31	25	19	2	2		131	4	74	
4	52	31	25	2	2	2		114	3	65	
5	52	31	2	2	2	2		91	2	66	
6	52	2	2	2	2	2		62	1	62	
7											
										Max VDC	74
										PCI(100-MaxVDC)	26



Muestra 30												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+740		Unidad de muestreo	30		7  6.9		30	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+770		Area de muestreo m²	208.5					
						Fecha	8/19/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)							
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m²)							
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / bermã (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)							
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	6	18							24	11.51%	3
15	L	21	18							39	18.71%	32
2	M	0.08								0.08	0.04%	0
6	L	5.84								5.84	2.80%	6
											PCI	Clasificación
											64	Bueno

Numero permitido de deducciones	7.2449	>	4
m=	4		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	32	6	3						41	3	24	
2	32	6	2						40	2	30	
3	32	2	2						36	1	36	
4												
5												
											Max VDC	36
											PCI(100-MaxVDC)	64

Muestra 31												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+800		Unidad de muestreo	31		7.4  7.5		30	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+830		Area de muestreo m²	223.5					
						Fecha	8/19/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)							
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m²)							
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / bermã (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)							
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	L	1	2							3	1.34%	22
2	L	12	12							24	10.74%	4
15	L	18	18	5.72						41.72	18.67%	32
7	L	2.7								2.7	1.21%	2
											PCI	Clasificación
											58	Bueno

Numero permitido de deducciones	7.2449	>	4
m=	4		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	32	22	4	2					60	3	39	
2	32	22	2	2					58	2	42	
3	32	2	2	2					38	1	38	
4												
5												
											Max VDC	42
											PCI(100-MaxVDC)	58



Muestra 32														
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema			
Zona		El Valle- Monay		Abscisa inicial		1+860		Unidad de muestreo		32				
Encuestado por		Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final		1+890		Area de muestreo m ²		244.5				
								Fecha		8/19/2020				
											8.5		7.8	
											30			
1. Piel de cocodrilo (m ²)			6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)					
2. Exudación (m ²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)					
5. Corrugación (m ²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)								
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir
15	L	21	18									39	15.95%	30
13	L	8										8	3.27%	36
13	M	3										3	1.23%	33
13	H	2										2	0.82%	48
6	L	7										7	2.86%	8
7	H	5										5	2.04%	11
4	L	5										5	2.04%	6
											PCI		Clasificación	
Numero permitido de deducciones											5.7755		< 7	
m=											5			
Factor al ultimo											0.7755			
											17		Muy pobre	

N°	Valores deducidos										VDT	q	VDC	
1	48	36	33	30	11	6					164.2	6	78.5	
2	48	36	33	30	11	2					160	5	81	
3	48	36	33	30	2	2					151	4	83	
4	48	36	33	2	2	2					123	3	74.5	
5	48	36	2	2	2	2					92	2	65	
6	48	2	2	2	2	2					58	1	57	
7														
											Max VDC		83	
											PCI(100-MaxVDC)		17	



Muestra 33												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica								Esquema				
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+920	Unidad de muestreo	33		7	9			
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	1+950	Area de muestreo m²	240						
					Fecha	8/19/2020						
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)							
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)							
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)							
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	6								6	2.50%	0
15	L	24	21							45	18.75%	31
4	M	3.4								3.4	1.42%	13
7	L	4.2								4.2	1.75%	2
19	L	21.36								21.36	8.90%	1
										PCI	Clasificación	
Numero permitido de deducciones										7.3367	>	5
m=										5		
Factor al ultimo										1		
										64	Bueno	

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	31	13	2	1					47	2	34
2	31	2	2	1					36	1	36
3											
4											
										Max VDC	36
										PCI(100-MaxVDC)	64

Muestra 34												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica								Esquema				
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	1+980	Unidad de muestreo	34		7	7.2			
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	2+010	Area de muestreo m²	213						
					Fecha	8/19/2020						
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)							
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)							
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)							
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
13	H	2								2	0.94%	50
15	L	18	15							33	15.49%	30
2	L	0.8								0.8	0.38%	0
										PCI	Clasificación	
Numero permitido de deducciones										5.5918	>	3
m=										3		
Factor al ultimo										1		
										43	Regular	

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	50	30							80	2	57
2	50	2							52	1	52
3											
4											
										Max VDC	57
										PCI(100-MaxVDC)	43



Muestra 35												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	2+040		Unidad de muestreo	35		8.8		8.8	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	2+070		Area de muestreo m²	264					
						Fecha	8/19/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)			
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabolica (slippage) (m²)			
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Giretas de reflexion de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)			
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de via ferrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)			
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)						
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
6	H	112.5								112.5	42.61%	68
15	M	15								15	5.68%	37
2	L	12	7.7	4						23.7	8.98%	4
1	M	13.2								13.2	5.00%	38
											PCI	Clasificación
											15	Muy pobre

Numero permitido de deducciones	3.9388	<	4
m=	3		
Factor al ultimo	0.9388		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	68	38	37	3.7551					146.76	4	81	
2	68	38	37	2					145	3	85	
3	68	38	2	2					110	2	75.5	
4	68	2	2	2					74	1	73	
5												
											Max VDC	85
											PCI(100-MaxVDC)	15

Muestra 36												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	2+100		Unidad de muestreo	36		6.8		6.8	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	2+130		Area de muestreo m²	204					
						Fecha	8/19/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)			
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabolica (slippage) (m²)			
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Giretas de reflexion de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)			
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de via ferrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)			
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)						
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	15								15	7.35%	2
6	L	27.6	19.04							46.64	22.86%	31
15	L	21								21	10.29%	38
											PCI	Clasificación
											50	Regular

Numero permitido de deducciones	6.6939	>	3
m=	3		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	38	31	2						71	2	50	
2	38	2	2						42	1	42	
3												
4												
											Max VDC	50
											PCI(100-MaxVDC)	50



Muestra 37													
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema		
Zona El Valle- Monay			Abscisa inicial 2+160		Unidad de muestreo 37			7		6.5			
Encuestado por Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final 2+190		Area de muestreo m² 202.5			30					
Fecha 8/19/2020													
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad									Total	Densidad (%)	Valor de deducir
2	L	9								9	4.44%	1	
13	H	2								2	0.99%	55	
15	L	18								18	8.89%	28	
13	M	1								1	0.49%	20	
7	M	4.5								4.5	2.22%	8	
											PCI	Clasificación	
Numero permitido de deducciones 5.1327 >											5		
m=											5		
Factor al ultimo											1		
											34	Pobre	

Nº	Valores deducidos									VDT	q	VDC
1	55	28	20	8	1					112	4	64
2	55	28	20	2	1					106	3	66
3	55	28	2	2	1					88	2	62
4	55	2	2	2	1					62	1	62
5												
											Max VDC	66
											PCI(100-MaxVDC)	34



Universidad de Cuenca

Muestra 38												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										Esquema		
Zona	El Valle- Monay			Abscisa inicial	2+220		Unidad de muestreo	38			7.5	7
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	2+250		Area de muestreo m ²	217.5				
							Fecha	8/19/2020				
1. Piel de cocodrilo (m ²)	6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)					
2. Exudación (m ²)	7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)					
5. Corrugación (m ²)	10. Grietas long / transversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)								
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
4	M	2.1								2.1	0.97%	11
2	L	8.4	8.4							16.8	7.72%	3
15	L	7.07	21							28.07	12.91%	28
5	L	17.5								17.5	8.05%	12
6	L	36.14								36.14	16.62%	25
											PCI	Clasificación
											56	Bueno

Numero permitido de deducciones	7.6122	>	5
m=	5		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	28	25	12	11	3		79	5	40
2	28	25	12	11	2		78	4	44
3	28	25	12	2	2		69	3	44
4	28	25	2	2	2		59	2	44
5	28	2	2	2	2		36	1	36
6									
								Max VDC	44
								PCI(100-MaxVDC)	56

Muestra 39												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica										Esquema		
Zona	El Valle- Monay			Abscisa inicial	2+280		Unidad de muestreo	39			7.4	7.7
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	2+310		Area de muestreo m ²	226.5				
							Fecha	8/19/2020				
1. Piel de cocodrilo (m ²)	6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)					
2. Exudación (m ²)	7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)					
3. Agrietamiento en bloque (m ²)	8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)					
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)					
5. Corrugación (m ²)	10. Grietas long / transversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)								
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
5	L	102.3								102.3	45.17%	29
2	L	2.5	5							7.5	3.31%	0
7	H	1.8								1.8	0.79%	9.5
15	L	10.15								10.15	4.48%	20
											PCI	Clasificación
											62	Bueno

Numero permitido de deducciones	7.5204	>	4
m=	4		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	29	20	9.5				58.5	3	38
2	29	20	2				51	2	36
3	29	2	2				33	1	33
4									
5									
								Max VDC	38
								PCI(100-MaxVDC)	62



Muestra 40												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	El Valle- Monay		Abscisa inicial	2+340		Unidad de muestreo	40		7.6  7.4		30	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	2+370		Area de muestreo m²	225					
						Fecha	8/19/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)							
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m²)							
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)							
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
7	H	3.3								3.3	1.47%	10
2	L	3.4	1.08	0.48						4.96	2.20%	0
7	L	4.3								4.3	1.91%	3
6	M	13.44								13.44	5.97%	20
											PCI	Clasificación
											76	Muy bueno
Numero permitido de deducciones		8.3469	>	4								
m=		4										
Factor al ultimo		1										

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	20	10	3						33	3	20	
2	20	10	2						32	2	24	
3	20	2	2						24	1	24	
4												
5												
											Max VDC	24
											PCI(100-MaxVDC)	76

Muestra 41												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema	
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	2+400		Unidad de muestreo	41		7.2  7.6		30	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	2+430		Area de muestreo m²	222					
						Fecha	19/8/2020					
1. Piel de cocodrilo (m²)	6. Depresión (m²)		11. Parcheo (m²)		16. Desplazamiento (m²)							
2. Exudación (m²)	7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabolica (slippage) (m²)							
3. Agrietamiento en bloque (m²)	8. Giretas de reflexion de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)	9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de via ferrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)							
5. Corrugación (m²)	10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)									
Daño	Severidad	Cantidad (m²)								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
15	L	18	24	18						60	27.03%	37
13	M	1								1	0.45%	18
2	L	1.26	1.62	3.92						6.8	3.06%	1
7	H	1.3	1.7							3	1.35%	7
											PCI	Clasificación
											57.5	Bueno
Numero permitido de deducciones		6.7857	>	4								
m=		4										
Factor al ultimo		1										

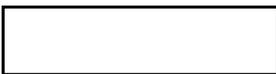
Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC	
1	37	18	7	1					63	3	40	
2	37	18	2	1					58	2	42.5	
3	37	2	2	1					42	1	41.5	
4												
											Max VDC	42.5
											PCI(100-MaxVDC)	57.5



Muestra 44												
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica										Esquema		
Zona	El Valle - Monay			Abscisa inicial	2+580		Unidad de muestreo	44		7	7	
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final	2+610		Area de muestreo m²	210				
							Fecha	19/8/2020				
1. Piel de cocodrilo (m²)		6. Depresión (m²)		11. Parqueo (m²)		16. Desplazamiento (m²)						
2. Exudación (m²)		7. Grietas de borde (m)		12. Pulimento de agregados (m²)		17. Grieta parabólica (slippage) (m²)						
3. Agrietamiento en bloque (m²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)		13. Huecos (m²)		18. Hinchamiento (m²)						
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / berma (m)		14. Cruce de vía férrea (m²)		19. Desprendimiento de agregados (m²)						
5. Corrugación (m²)		10. Grietas long / trasnversal (m)		15. Ahuellamiento (m²)								
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
4	L	0.4	1.5	2.45						4.35	2.07%	7
1	M	0.12								0.12	0.06%	4
7	H	1.6								1.6	0.76%	9
13	M	1								1	0.48%	19
15	L	18	21							39	18.57%	33
6	L	7.67								7.67	3.65%	8
										PCI	Clasificación	
Numero permitido de deducciones										7.1531	>	6
m=										6		
Factor al ultimo										1		
										56	Bueno	

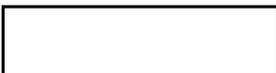
Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	33	19	9	8	7	4			80	6	37.5
2	33	19	9	8	7	2			78	5	40
3	33	19	9	8	2	2			73	4	41
4	33	19	9	2	2	2			67	3	42.5
5	33	19	2	2	2	2			60	2	44
6	33	2	2	2	2	2			43	1	42.5
7											
										Max VDC	44
										PCI(100-MaxVDC)	56



Muestra 45										Esquema		
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica										8.4  8		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	2+640		Unidad de muestreo	45					
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	2+670		Area de muestreo m²	246					
						Fecha	19/8/2020			30		
1. Piel de cocodrilo (m²)		6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)		7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)		10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
10	L	5.5								5.5	2.24%	1
13	L	1								1	0.41%	10
15	L	18	18	15	15					66	26.83%	38
11	L	5.4								5.4	2.20%	6
1	M	0.42								0.42	0.17%	9
5	L	10.35								10.35	4.21%	8
										PCI		Clasificación
										54		Regular

Numero permitido de deducciones	6.6939	>	6
m=	6		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	38	10	9	8	6	1			72	5	36.5
2	38	10	9	8	2	1			68	4	38
3	38	10	9	2	2	1			62	3	39.5
4	38	10	2	2	2	1			55	2	40.5
5	38	2	2	2	2	1			47	1	46
6											
										Max VDC	46
										PCI(100-MaxVDC)	54

Muestra 46										Esquema		
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica										7  7.5		
Zona	El Valle - Monay		Abscisa inicial	2+700		Unidad de muestreo	46					
Encuestado por	Ronald Plaza y Jonny Garzón		Abscisa final	2+730		Area de muestreo m²	217.5					
						Fecha	19/8/2020			30		
1. Piel de cocodrilo (m²)		6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)				
2. Exudación (m²)		7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m²)				
3. Agrietamiento en bloque (m²)		8. Grietas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)				
4. Abultamientos y hundimientos (m)		9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)				
5. Corrugación (m²)		10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)							
Daño	Severidad	Cantidad								Total	Densidad (%)	Valor de deducir
6	M	6.11								6.11	2.81%	13
1	M	6.11								6.11	2.81%	30
15	L	15	15							30	13.79%	28
5	L	16.3								16.3	7.49%	11
										PCI		Clasificación
										53		Regular

Numero permitido de deducciones	7.4286	>	4
m=	4		
Factor al ultimo	1		

Nº	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	30	28	13	11					82	4	47
2	30	28	13	2					73	3	46
3	30	28	2	2					62	2	45
4	30	2	2	2					36	1	35.5
5											
										Max VDC	47
										PCI(100-MaxVDC)	53



Muestra 47																
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfaltica											Esquema					
Zona El Valle - Monay			Abscisa inicial 2+760			Unidad de muestreo 47			7		7					
Encuestado por Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final 2+790			Area de muestreo m² 210			30							
Fecha 19/8/2020																
1. Piel de cocodrilo (m²)			6. Depresión (m²)			11. Parcheo (m²)			16. Desplazamiento (m²)							
2. Exudación (m²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m²)			17. Grieta parabolica (slippage) (m²)							
3. Agrietamiento en bloque (m²)			8. Giretas de reflexion de junta (m)			13. Huecos (m²)			18. Hinchamiento (m²)							
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de via ferrea (m²)			19. Desprendimiento de agregados (m²)							
5. Corrugación (m²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m²)										
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir		
6	H	14.4										14.4	6.86%	35		
2	L	13.5										13.5	6.43%	2		
15	L	18	15									33	15.71%	31		
6	M	13.95										13.95	6.64%	22		
1	L	10.23										10.23	4.87%	25		
													PCI	Clasificación		
Numero permitido de deducciones												6.9694	>	5	35.5	Pobre
m=												5				
Factor al ultimo												1				

Nº	Valores deducidos										VDT	q	VDC	
1	35	31	25	22	1						114	4	64.5	
2	35	31	25	2	1						94	3	59.5	
3	35	31	2	2	1						71	2	41.5	
4	35	2	2	2	1						42	1	41.5	
5														
												Max VDC		64.5
												PCI(100-MaxVDC)		35.5



Muestra 48															
Hoja de datos de encuesta de las condiciones de carreteras y estacionamientos con superficie asfáltica											Esquema				
Zona El Valle - Monay			Abscisa inicial 2+820			Unidad de muestreo 48			8.1		8.5				
Encuestado por Ronald Plaza y Jonny Garzón			Abscisa final 2+850			Area de muestreo m ² 249			30						
Fecha 19/8/2020															
1. Piel de cocodrilo (m ²)			6. Depresión (m ²)			11. Parcheo (m ²)			16. Desplazamiento (m ²)						
2. Exudación (m ²)			7. Grietas de borde (m)			12. Pulimento de agregados (m ²)			17. Grieta parabólica (slippage) (m ²)						
3. Agrietamiento en bloque (m ²)			8. Giretas de reflexión de junta (m)			13. Huecos (m ²)			18. Hinchamiento (m ²)						
4. Abultamientos y hundimientos (m)			9. Desnivel carril / berma (m)			14. Cruce de vía férrea (m ²)			19. Desprendimiento de agregados (m ²)						
5. Corrugación (m ²)			10. Grietas long / trasnversal (m)			15. Ahuellamiento (m ²)									
Daño	Severidad	Cantidad										Total	Densidad (%)	Valor de deducir	
13	H	1										1	0.40%	36	
6	L	10.03										10.03	4.03%	8	
4	L	0.6										0.6	0.24%	0	
5	L	31.5										31.5	12.65%	14	
15	L	18										18	7.23%	24	
13	L	2										2	0.80%	17	
											PCI		Clasificación		
Numero permitido de deducciones											6.8776	>	6	47	Regular
m=													6		
Factor al ultimo													1		

N°	Valores deducidos							VDT	q	VDC
1	36	24	17	14	8	0		99	5	51.5
2	36	24	17	14	2	0		93	4	53
3	36	24	17	2	2	0		81	3	51.5
4	36	24	2	2	2	0		66	2	48
5	36	2	2	2	2	0		44	1	39.5
6										
Max VDC										53
PCI(100-MaxVDC)										47



Anexo 4

Certificado del peso de la volqueta para los dos días del ensayo, 1 de septiembre y el 5 de septiembre.

RECICLADORA DEL AUSTRO
AV. AMERICAS Y MILCHICHIG JUNTO A LA GASOLINERIA P & S
Teléfono: 07-2867778
Cel: 0988448654

SERVICIO DE BÁSCULA EXTERNO

FECHA DE INGRESO : 01/09/2020 9:30:18 N°: 47.944

CLIENTE : RONAL PLAZA

METAL : OTROS MATERIALES

PESO BRUTO : 8230 Kg

PLACA VEHÍCULO : ASA1043

OBSERVACIÓN : ENTRADA

RECICLADORA DEL AUSTRO
RECICLADOR RONAL PLAZA
RECICLADOR CLAUDIA JURADO
RECICLADOR

RECICLADORA DEL AUSTRO
AV. AMERICAS Y MILCHICHIG JUNTO A LA GASOLINERIA P & S
Teléfono: 07-2867778
Cel: 0988448654

SERVICIO DE BÁSCULA EXTERNO

FECHA DE INGRESO : 05/09/2020 9:06:03 N°: 48.038

CLIENTE : RONAL PLAZA

METAL : OTROS MATERIALES

PESO BRUTO : 8200 Kg

PLACA VEHÍCULO : ASA1049

OBSERVACIÓN : ENTRADA

RECICLADORA DEL AUSTRO
RECICLADOR RONAL PLAZA
RECICLADOR CLAUDIA JURADO
RECICLADOR



Anexo 5

Hojas de reporte del ensayo con la viga Benkelman Vía Ricaurte - Llacao

Proyecto:	Vía Puente Rio Llacao - Riacuerte (Sentido Llacao-Ricaurte, avanzada carril derecho)
Tipo de pavimento:	Doble tratamiento superficial bituminoso
Carga de eje:	8230 toneladas
Presión de inflado:	80 psi
Fecha:	1 de septiembre del 2020
Realizado por:	Jonny Garzón y Ronald Plaza

Est.	Abscisa	Temp. (°C)	Lectura de deflectometro								Lectura en milímetros (mm) (LecturaDial*0.01)							
			R0=0	R1=25	R2=50	R3=100	R4=150	R5=200	R6=300	∞	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D.∞
1	0+100	21	0	4	8	9.5	11	11.5	12	12.5	0	0.04	0.08	0.095	0.11	0.115	0.12	0.125
2	0+300	20	0	3.5	11.5	16.5	18.5	20	20.5	21	0	0.035	0.115	0.165	0.185	0.2	0.205	0.21
3	0+500	20	0	14	17.5	22	26.5	27.5	28	28	0	0.14	0.175	0.22	0.265	0.275	0.28	0.28
4	0+700	19	0	1.5	2.5	5.5	6.5	8	8.5	8.5	0	0.015	0.025	0.055	0.065	0.08	0.085	0.085
5	0+900	18.5	0	6	9	12.5	14.5	15	15.5	15.5	0	0.06	0.09	0.125	0.145	0.15	0.155	0.155
6	1+100	20	0	7	13.5	15.5	17	18	18.5	18.5	0	0.07	0.135	0.155	0.17	0.18	0.185	0.185
7	1+300	20	0	5.5	13	20.5	22.5	23.5	23.5	23.5	0	0.055	0.13	0.205	0.225	0.235	0.235	0.235
8	1+500	2	0	7.5	15	20	21	22	22	22	0	0.075	0.15	0.2	0.21	0.22	0.22	0.22

Proyecto:	Vía Puente Rio Llacao - Riacuerte (Direccion Llacao-Ricaurte, retorno carril izquierdo)
Tipo de pavimento:	Doble tratamiento superficial bituminoso
Carga de eje:	8230 toneladas
Presión de inflado:	80 psi
Fecha:	1 de septiembre del 2020
Realizado por:	Jonny Garzón y Ronald Plaza

Est.	Abscisa	Temp. (°C)	Lectura de deflectometro								Lectura en milímetros (mm) (LecturaDial*0.01)							
			R0=0	R1=25	R2=50	R3=100	R4=150	R5=200	R6=300	∞	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D.∞
9	1+600	17	0	0	5	8	9	9.5	10	10	0	0	0.05	0.08	0.09	0.095	0.1	0.1
10	1+400	17	0	7	12	14	14.5	16	17.5	18	0	0.07	0.12	0.14	0.145	0.16	0.175	0.18
11	1+200	18	0	1.5	13.5	15.5	16	17	17.5	18	0	0.015	0.135	0.155	0.16	0.17	0.175	0.18
12	1+000	20	0	2	2.5	3	3.5	3.5	3.5	3.5	0	0.02	0.025	0.03	0.035	0.035	0.035	0.035
13	0+800	20	0	6.5	17	20	23	24	25	26	0	0.065	0.17	0.2	0.23	0.24	0.25	0.26
14	0+600	20	0	9	16	22.5	25	25	25.5	25.5	0	0.09	0.16	0.225	0.25	0.25	0.255	0.255
15	0+400	22	0	3	8.5	12	14.5	15.5	16	16	0	0.03	0.085	0.12	0.145	0.155	0.16	0.16
16	0+200	22	0	1	6.5	11.5	12.5	13	13.5	13.5	0	0.01	0.065	0.115	0.125	0.13	0.135	0.135



Hojas de reporte del ensayo con la viga Benkelman Vía Monay – El Despacho – El Valle

Proyecto:	Carretera Monay - El Despacho - El Valle (Sentido El Valle-Monay, avanzada carril derecho)
Tipo de pavimento:	Doble tratamiento superficial bituminoso
Carga de eje:	8230 toneladas
Presión de inflado:	80 psi
Fecha:	1 de septiembre del 2020
Realizado por:	Jonny Garzón y Ronald Plaza

Est.	Abscisa	Temp (°C)	Lectura de deflectometro								Lectura en milímetros (mm) (LecturaDial*0.01)							
			L0=0	L1=25	L2=50	L3=100	L4=150	L5=200	L6=300	L8=800	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	0+150	17.5	0	1	6	15	22	24	26	27	0	0.01	0.06	0.15	0.22	0.24	0.26	0.27
2	0+450	17.5	0	12.5	18	24.5	26	26.5	27	27.5	0	0.125	0.18	0.245	0.26	0.265	0.27	0.275
3	0+750	17.5	0	8.5	16	22	24.5	26	26	26	0	0.085	0.16	0.22	0.245	0.26	0.26	0.26
4	1+050	17	0	3	5	6	7	7.5	8	9	0	0.03	0.05	0.06	0.07	0.075	0.08	0.090
5	1+350	17	0	5	12.5	18	21	23.5	24	25	0	0.05	0.125	0.18	0.21	0.235	0.24	0.25
6	1+650	17	0	1	8.5	14.5	17	17	17.5	17.5	0	0.01	0.085	0.145	0.17	0.17	0.175	0.175
7	1+950	16.5	0	3	5.5	6.5	7	7.5	8	8.5	0	0.03	0.055	0.065	0.07	0.075	0.08	0.085
8	2+250	16	0	1.5	2	3	4.5	5.5	5.5	5.5	0	0.015	0.02	0.03	0.045	0.055	0.055	0.055
9	2+550	16	0	3	6	9	10.5	11.5	12.5	13.5	0	0.03	0.06	0.09	0.11	0.12	0.13	0.14
10	2+850	16	0	3	7	11.5	13.5	15	15	15	0	0.03	0.07	0.12	0.14	0.15	0.15	0.15

Proyecto:	Carretera Monay - El Despacho - El Valle (Sentido El Valle-Monay, retorno carril izquierdo)
Tipo de pavimento:	Doble tratamiento superficial bituminoso
Carga de eje:	8230 toneladas
Presión de inflado:	80 psi
Fecha:	5 de septiembre del 2020
Realizado por:	Jonny Garzón y Ronald Plaza

Est.	Abscisa	Temp. (°C)	Lectura de deflectometro								Lectura en milímetros (mm) (LecturaDial*0.01)							
			L0=0	L1=25	L2=50	L3=100	L4=150	L5=200	L6=300	L7=800	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
11	3+000	17	0	3.5	8	15	19	20	20	20	0	0.035	0.08	0.15	0.19	0.2	0.2	0.2
12	2+700	17	0	1.5	3	4.5	5.5	6	6.5	7	0	0.015	0.03	0.045	0.055	0.06	0.065	0.07
13	2+400	18	0	2	3	4	5	6	7.5	7.5	0	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.075	0.075
14	2+100	18	0	2	5.5	6.5	7.5	8	8.5	9	0	0.02	0.055	0.065	0.075	0.08	0.085	0.090
15	1+800	19	0	3.5	7.5	10	11	11	11	11	0	0.035	0.075	0.1	0.11	0.11	0.11	0.11
16	1+500	19	0	1.5	3	5	6.5	7	7.5	8	0	0.015	0.03	0.05	0.065	0.07	0.075	0.08
17	1+200	18	0	3	6	8	10	10.5	11	11.5	0	0.03	0.06	0.08	0.1	0.105	0.11	0.115
18	0+900	18	0	1	2.5	4.5	5.5	6.5	7	7.5	0	0.01	0.025	0.045	0.055	0.065	0.07	0.075
19	0+600	18	0	3	9.5	14	16	17	17	17	0	0.03	0.095	0.14	0.16	0.17	0.17	0.17
20	0+300	18	0	2	5	9.5	11	12.5	13	13.5	0	0.02	0.05	0.095	0.11	0.125	0.13	0.135



Anexo 6

Transformación de los resultados del ensayo de la Viga Benkelman a Deflectómetro de impacto (FWD)

Carreteras Ricaurte-Llacao

Deflexiones (pulgadas) Ricaurte-Llacao ensayo Viga Benkelman								
Estación	R0=0 cm	R25=25 cm	R50=50 cm	R100=100 cm	R150=150 cm	R200=200 cm	R300=300 cm	R800=800 cm
1	0.01969	0.01339	0.00709	0.00472	0.00236	0.00236	0.00079	0.00000
2	0.03307	0.02756	0.01496	0.00709	0.00394	0.00157	0.00079	0.00000
3	0.04409	0.02205	0.01654	0.00945	0.00236	0.00079	0.00000	0.00000
4	0.01339	0.01102	0.00945	0.00472	0.00315	0.00079	0.00000	0.00000
5	0.02441	0.01496	0.01024	0.00472	0.00157	0.00079	0.00000	0.00000
6	0.02913	0.01811	0.00787	0.00472	0.00236	0.00079	0.00000	0.00000
7	0.03701	0.02835	0.01654	0.00472	0.00157	0.00000	0.00000	0.00000
8	0.03465	0.02283	0.01102	0.00315	0.00157	0.00000	0.00000	0.00000
9	0.01575	0.01575	0.00787	0.00315	0.00157	0.00079	0.00000	0.00000
10	0.02835	0.01732	0.00945	0.00630	0.00551	0.00315	0.00079	0.00000
11	0.02835	0.02598	0.00709	0.00394	0.00315	0.00157	0.00079	0.00000
12	0.00551	0.00236	0.00157	0.00079	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
13	0.04094	0.03071	0.01417	0.00945	0.00472	0.00315	0.00157	0.00000
14	0.04016	0.02598	0.01496	0.00472	0.00079	0.00079	0.00000	0.00000
15	0.02520	0.02047	0.01181	0.00630	0.00236	0.00079	0.00000	0.00000
16	0.02126	0.01969	0.01102	0.00315	0.00157	0.00079	0.00000	0.00000

Deflexiones transformadas (pulgadas) Ricaurte-Llacao método 1 Deflectómetro de impacto (FWD)								
Estación	R0=0 cm	R25=25 cm	R50=50 cm	R100=100 cm	R150=150 cm	R200=200 cm	R300=300 cm	R800=800 cm
1	0.01958	0.01286	0.00614	0.00362	0.00110	0.00110	0.00000	0.00000
2	0.03385	0.02798	0.01454	0.00614	0.00278	0.00026	0.00000	0.00000
3	0.04561	0.02210	0.01622	0.00866	0.00110	0.00000	0.00000	0.00000
4	0.01286	0.01034	0.00866	0.00362	0.00194	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.02462	0.01454	0.00950	0.00362	0.00026	0.00000	0.00000	0.00000
6	0.02966	0.01790	0.00698	0.00362	0.00110	0.00000	0.00000	0.00000
7	0.03805	0.02882	0.01622	0.00362	0.00026	0.00000	0.00000	0.00000
8	0.03553	0.02294	0.01034	0.00194	0.00026	0.00000	0.00000	0.00000
9	0.01538	0.01538	0.00698	0.00194	0.00026	0.00000	0.00000	0.00000
10	0.02882	0.01706	0.00866	0.00530	0.00446	0.00194	0.00000	0.00000
11	0.02882	0.02630	0.00614	0.00278	0.00194	0.00026	0.00000	0.00000
12	0.00446	0.00110	0.00026	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
13	0.04225	0.03134	0.01370	0.00866	0.00362	0.00194	0.00026	0.00000
14	0.04141	0.02630	0.01454	0.00362	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
15	0.02546	0.02042	0.01118	0.00530	0.00110	0.00000	0.00000	0.00000
16	0.02126	0.01958	0.01034	0.00194	0.00026	0.00000	0.00000	0.00000



Carretera Monay-El Valle

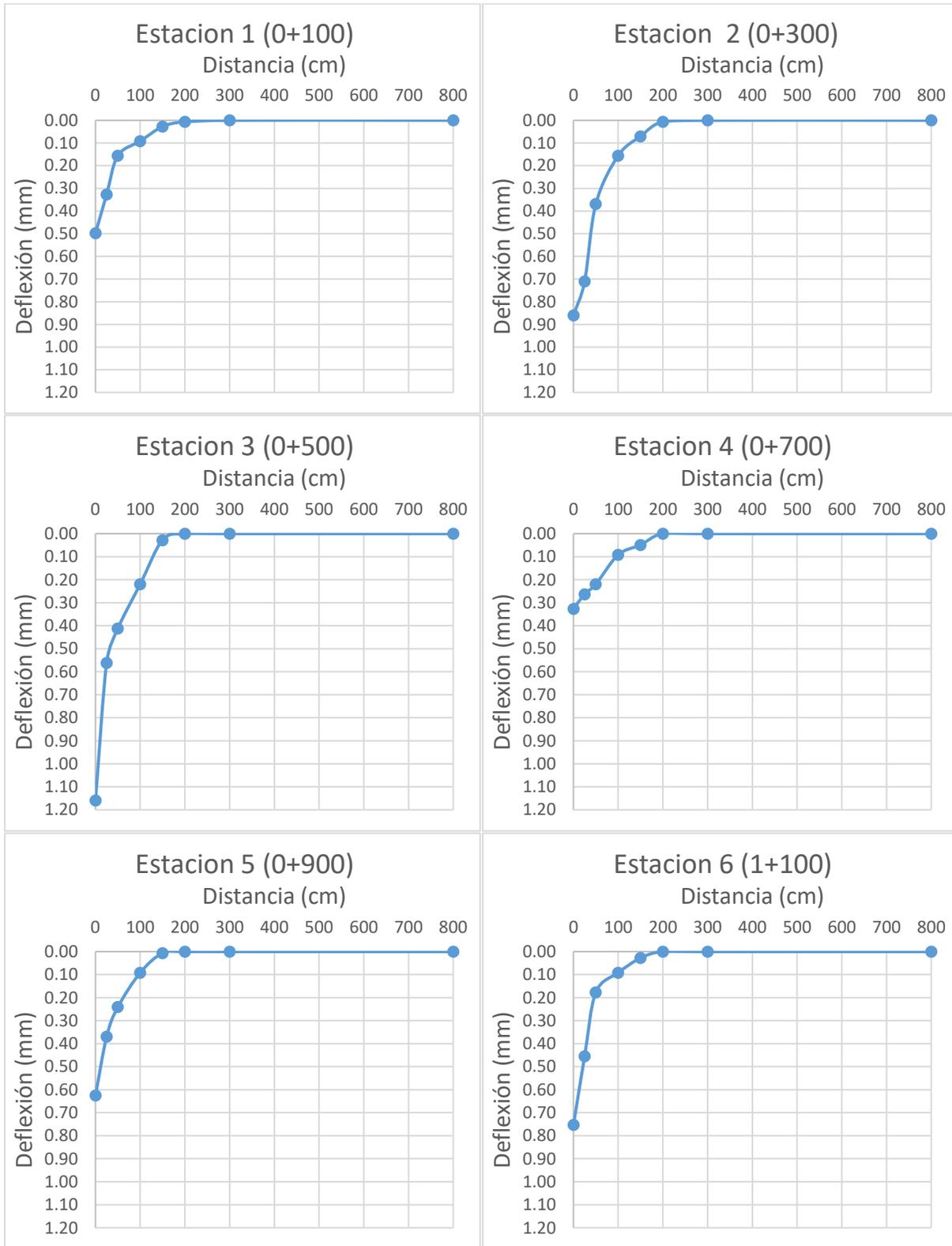
Deflexiones (pulgadas) Monay-El Valle ensayo Viga Benkelman								
Estación	R0=0 cm	R25=25 cm	R50=50 cm	R100=100 cm	R150=150 cm	R200=200 cm	R300=300 cm	R800=800 cm
1	0.0425	0.0409	0.0331	0.0189	0.0079	0.0047	0.0016	0.00
2	0.0433	0.0236	0.0150	0.0047	0.0024	0.0016	0.0008	0.00
3	0.0409	0.0276	0.0157	0.0063	0.0024	0.0000	0.0000	0.00
4	0.0142	0.0094	0.0063	0.0047	0.0031	0.0024	0.0016	0.00
5	0.0394	0.0315	0.0197	0.0110	0.0063	0.0024	0.0016	0.00
6	0.0276	0.0260	0.0142	0.0047	0.0008	0.0008	0.0000	0.00
7	0.0134	0.0087	0.0047	0.0031	0.0024	0.0016	0.0008	0.00
8	0.0087	0.0063	0.0055	0.0039	0.0016	0.0000	0.0000	0.00
9	0.0213	0.0165	0.0118	0.0071	0.0047	0.0031	0.0016	0.00
10	0.0236	0.0189	0.0126	0.0055	0.0024	0.0000	0.0000	0.00
11	0.0315	0.0260	0.0189	0.0079	0.0016	0.0000	0.0000	0.00
12	0.0110	0.0087	0.0063	0.0039	0.0024	0.0016	0.0008	0.00
13	0.0118	0.0087	0.0071	0.0055	0.0039	0.0024	0.0000	0.00
14	0.0142	0.0110	0.0055	0.0039	0.0024	0.0016	0.0008	0.00
15	0.0173	0.0118	0.0055	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
16	0.0126	0.0102	0.0079	0.0047	0.0024	0.0016	0.0008	0.00
17	0.0181	0.0134	0.0087	0.0055	0.0024	0.0016	0.0008	0.00
18	0.0118	0.0102	0.0079	0.0047	0.0031	0.0016	0.0008	0.00
19	0.0268	0.0220	0.0118	0.0047	0.0016	0.0000	0.0000	0.00
20	0.0213	0.0181	0.0134	0.0063	0.0039	0.0016	0.0008	0.00

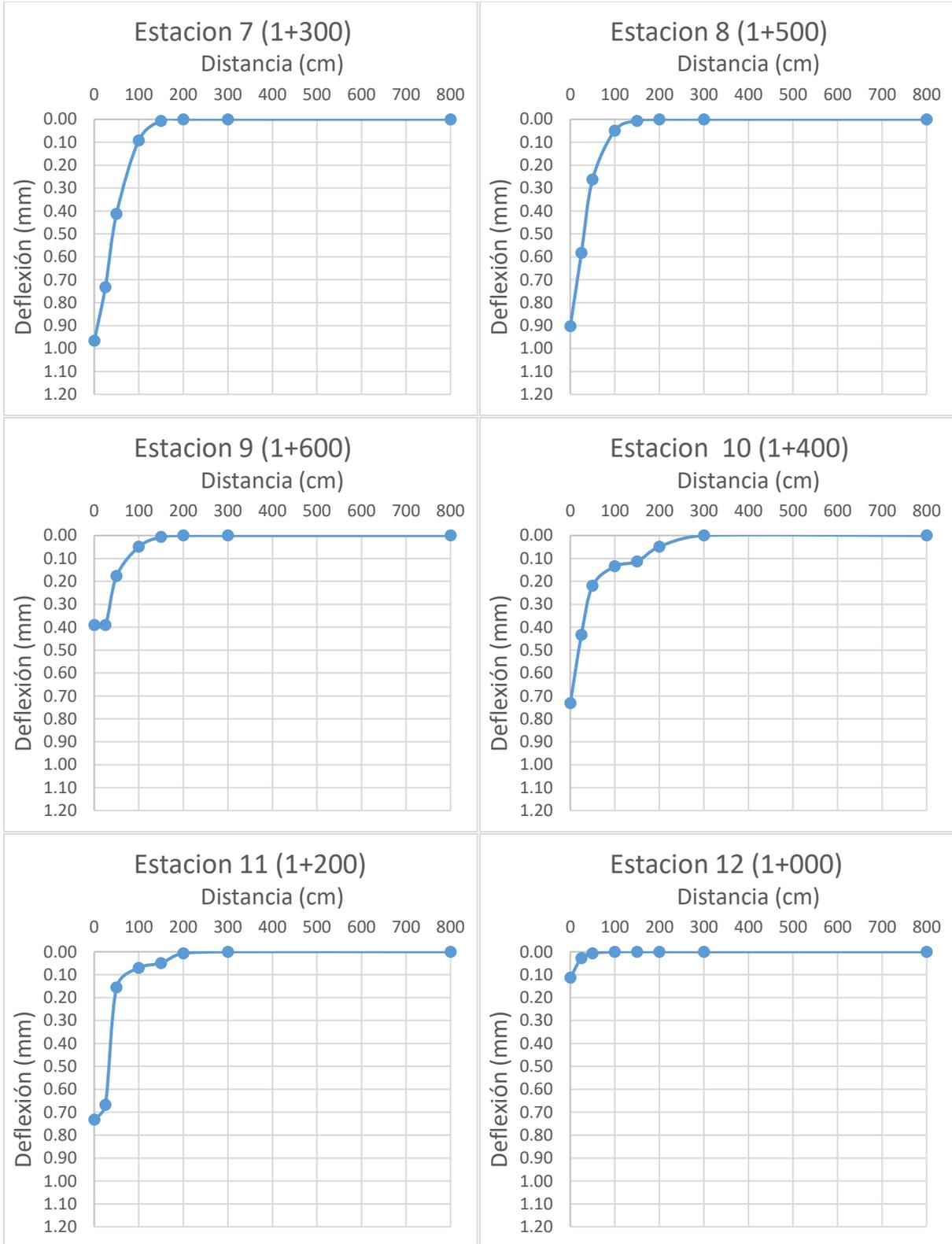
Deflexiones transformadas (pulgadas) Monay-El Valle método 1 Deflectómetro de impacto (FWD)								
Estación	R0=0 cm	R25=25 cm	R50=50 cm	R100=100 cm	R150=150 cm	R200=200 cm	R300=300 cm	R800=800 cm
1	0.04393	0.04225	0.03385	0.01874	0.00698	0.00362	0.00026	0.00
2	0.04477	0.02378	0.01454	0.00362	0.00110	0.00026	0.00000	0.00
3	0.04225	0.02798	0.01538	0.00530	0.00110	0.00000	0.00000	0.00
4	0.01370	0.00866	0.00530	0.00362	0.00194	0.00110	0.00026	0.00
5	0.04057	0.03217	0.01958	0.01034	0.00530	0.00110	0.00026	0.00
6	0.02798	0.02630	0.01370	0.00362	0.00000	0.00000	0.00000	0.00
7	0.01286	0.00782	0.00362	0.00194	0.00110	0.00026	0.00000	0.00
8	0.00782	0.00530	0.00446	0.00278	0.00026	0.00000	0.00000	0.00
9	0.02126	0.01622	0.01118	0.00614	0.00362	0.00194	0.00026	0.00
10	0.02378	0.01874	0.01202	0.00446	0.00110	0.00000	0.00000	0.00
11	0.03217	0.02630	0.01874	0.00698	0.00026	0.00000	0.00000	0.00
12	0.01034	0.00782	0.00530	0.00278	0.00110	0.00026	0.00000	0.00
13	0.01118	0.00782	0.00614	0.00446	0.00278	0.00110	0.00000	0.00
14	0.01370	0.01034	0.00446	0.00278	0.00110	0.00026	0.00000	0.00
15	0.01706	0.01118	0.00446	0.00026	0.00000	0.00000	0.00000	0.00
16	0.01202	0.00950	0.00698	0.00362	0.00110	0.00026	0.00000	0.00
17	0.01790	0.01286	0.00782	0.00446	0.00110	0.00026	0.00000	0.00
18	0.01118	0.00950	0.00698	0.00362	0.00194	0.00026	0.00000	0.00
19	0.02714	0.02210	0.01118	0.00362	0.00026	0.00000	0.00000	0.00
20	0.02126	0.01790	0.01286	0.00530	0.00278	0.00026	0.00000	0.00

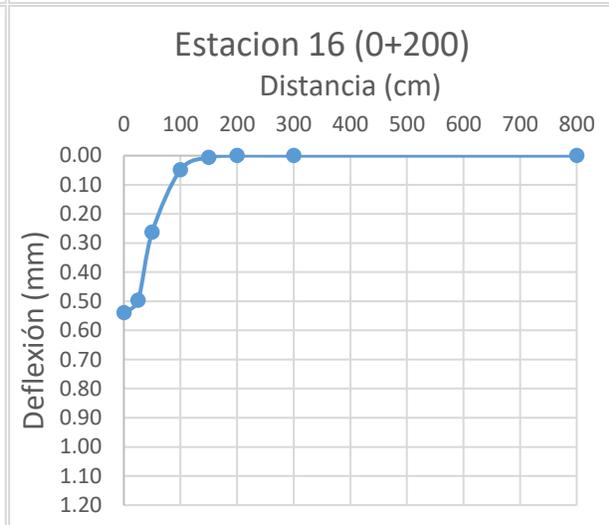
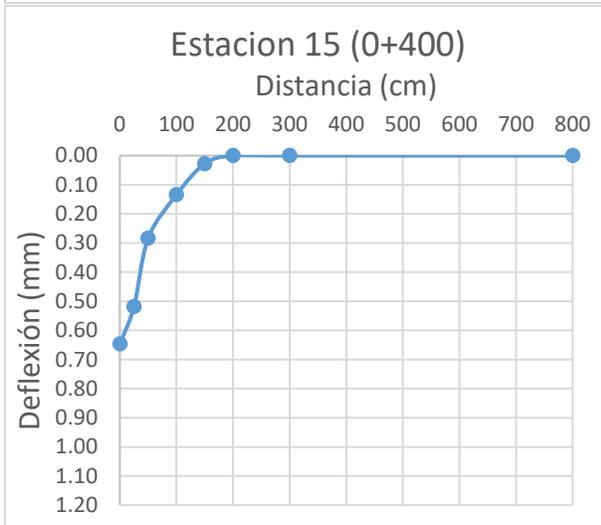
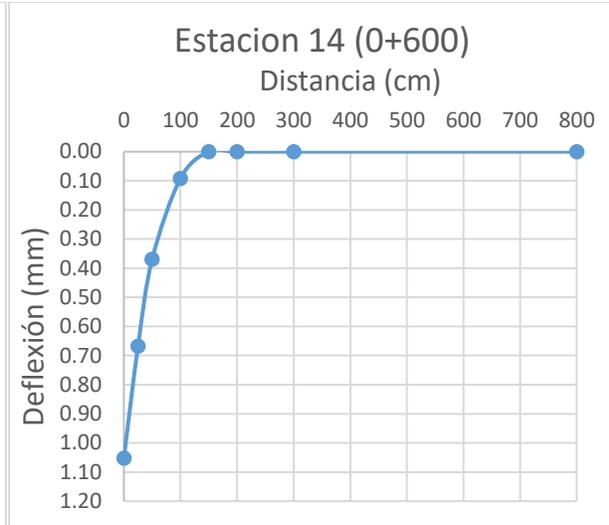
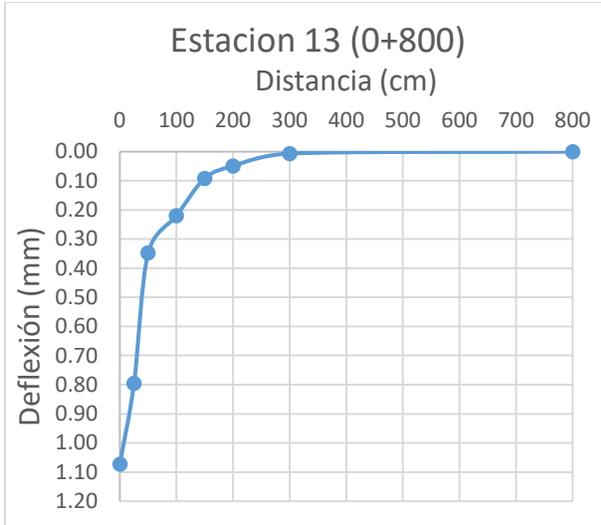


Anexo 7

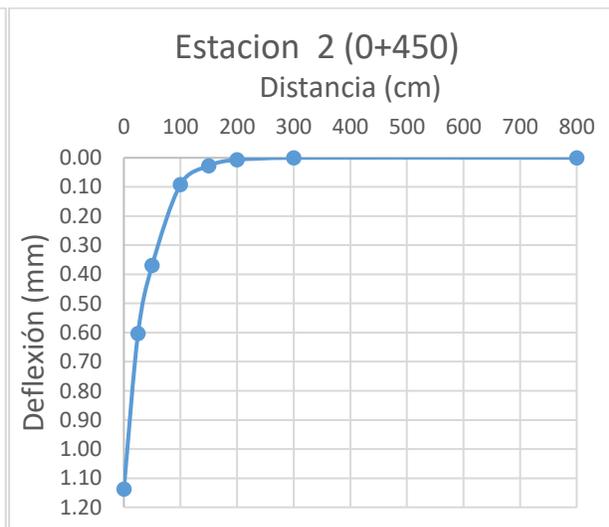
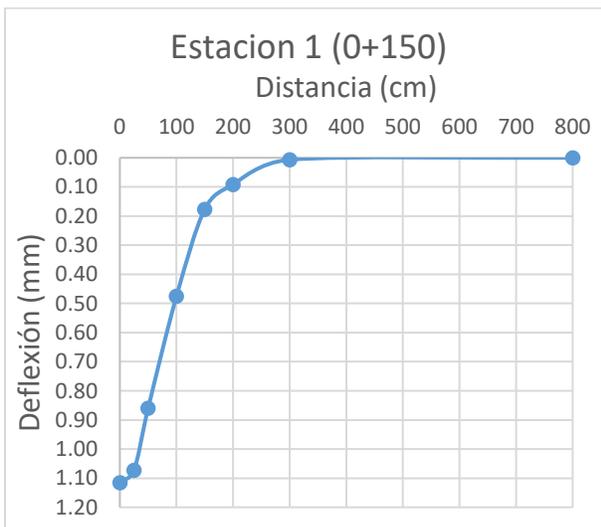
Graficas de los cuencos de deflexión de la vía Ricaurte – Llaoco

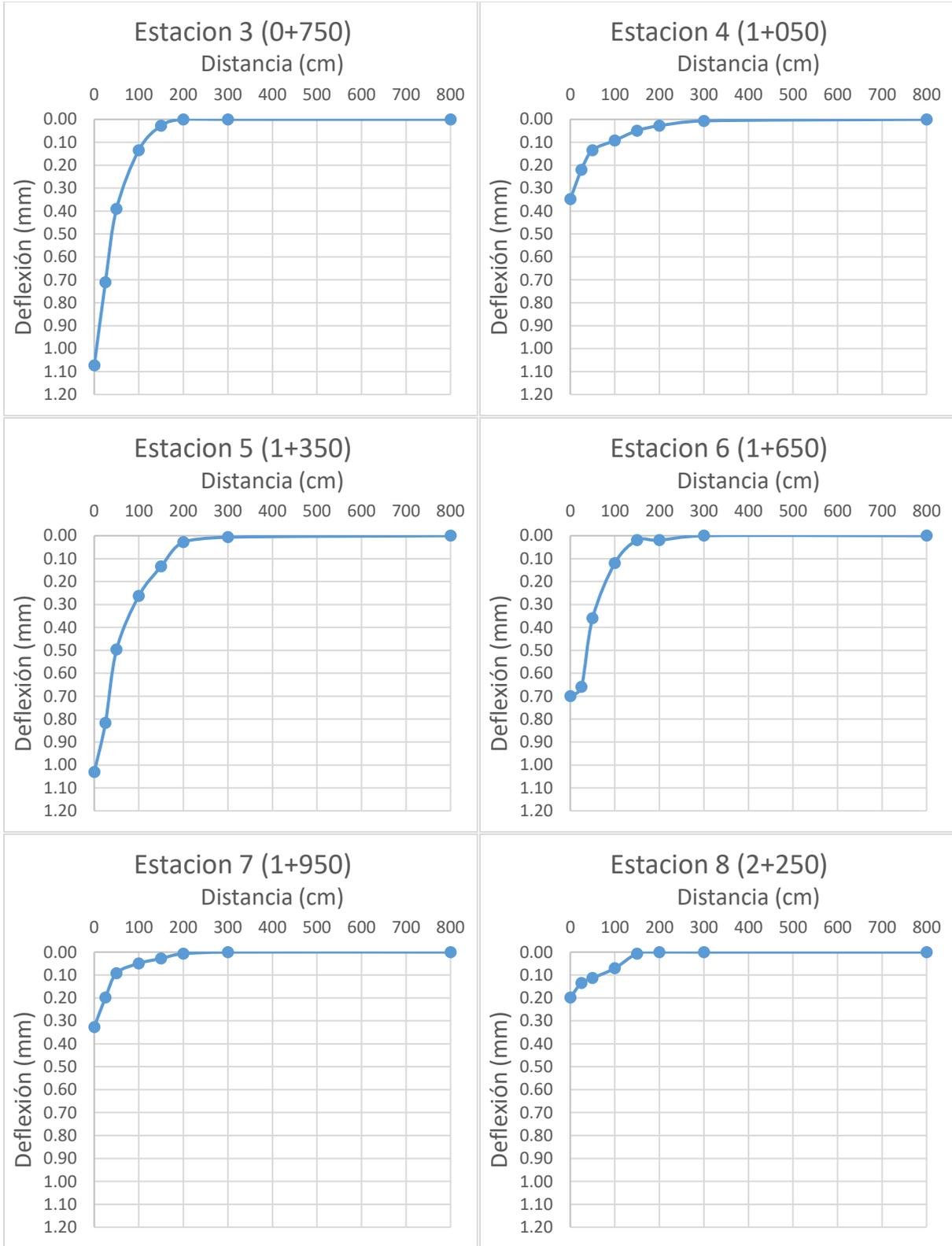


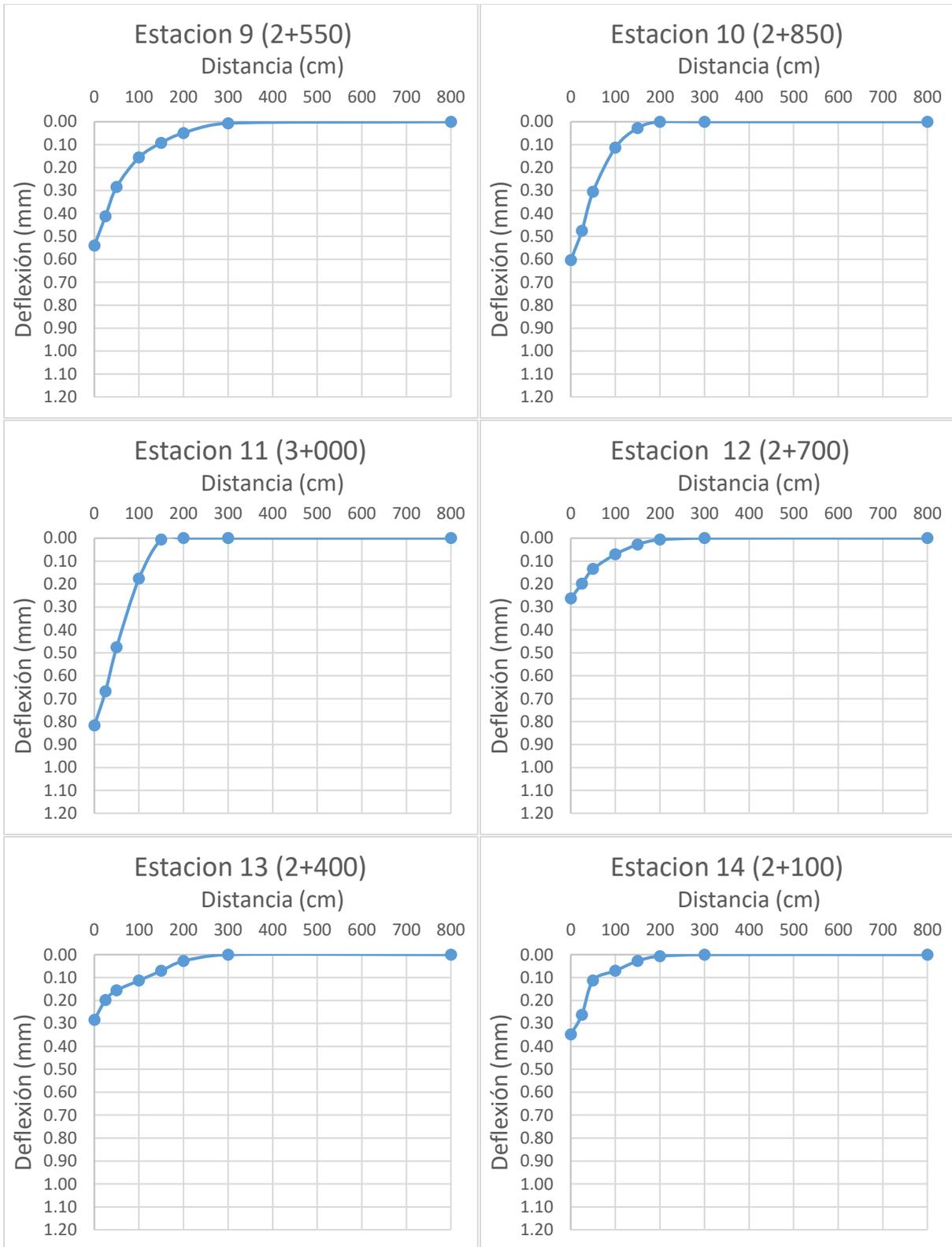


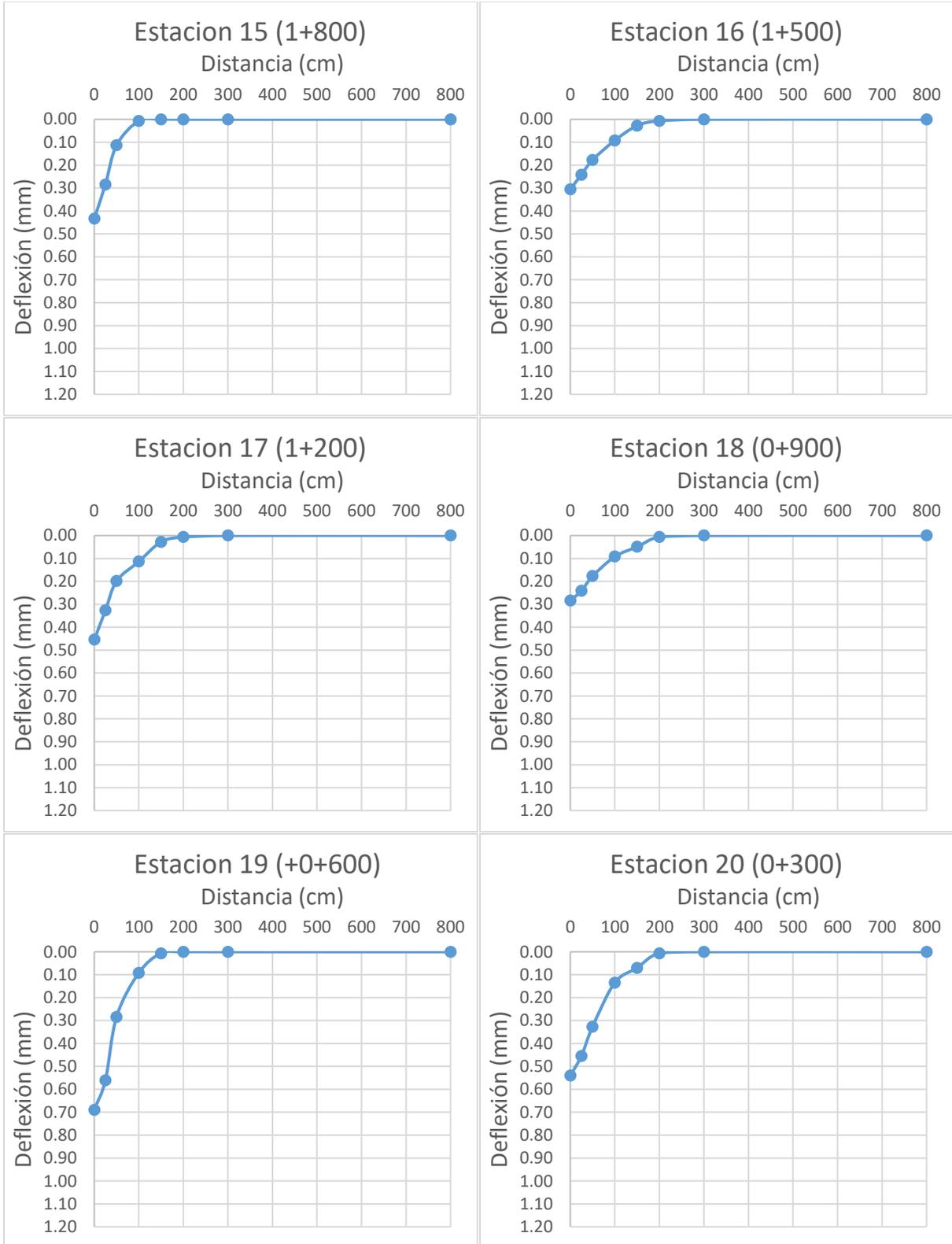


Vía Monay – El Despacho – El Valle









Anexo 8

Tabla de tipos de vehículos y pesos de ejes equivalentes.

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)			
				Largo	Ancho	Alto	
2 D		 	CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7	5,00	2,60	3,00
2DA		 	CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS	10	7,50	2,60	3,50
2DB		 	CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18	12,20	2,60	4,10
3-A		 	CAMIÓN DE 3 EJES	27	12,20	2,60	4,10
4-C		 	CAMIÓN DE 4 EJES	31	12,20	2,60	4,10
4.0 octopus		 	CAMIÓN CON TAMDEM DIRECCIONAL Y TAMDEM POSTERIOR	32	12,20	2,60	4,10
V2DB		 	VOQUETA DE DOS EJES 8 m ³	18	12,20	2,60	4,10
V3A		 	VOQUETA DE TRES EJES 10-14 m ³	27	12,20	2,60	4,10
VZS		 	VOQUETA ZS DE 3 EJES 16 m ³	27	12,20	2,60	4,10
T2		 	TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES	18	8,50	2,60	4,10
T3		 	TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES	27	8,50	2,60	4,10
S3		 	SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	24	13,00	2,60	4,10
S2		 	SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	20	13,00	2,60	4,10
S1		 	SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	11	13,00	2,60	4,10
R2		 	REMOLQUE DE 2 EJES	22	10,00	2,60	4,10
R3		 	REMOLQUE DE 3 EJES	31	10,00	2,60	4,10
B1		 	REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJE	11	10,00	2,60	4,10
B2		 	REMOLQUE BALANCEADO DE 2 EJES	20	10,00	2,60	4,10
B3		 	REMOLQUE BALANCEADO DE 3 EJES	24	10,00	2,60	4,10



TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
3S3			48	20,50	2,60	4,30
2R2			40	20,50	2,60	4,30
2R3			48	20,50	2,60	4,30
3R2			48	20,50	2,60	4,30
3R3			48	20,50	2,60	4,30
2B1			29	20,50	2,60	4,30
2B2			38	20,50	2,60	4,30
2B3			42	20,50	2,60	4,30
3B1			38	20,50	2,60	4,30
3B2			47	20,50	2,60	4,30
3B3			48	20,50	2,60	4,30



Anexo 9

Fotografías de los ensayos en campo.

Ensayos de desempeño funcional, PCI.





Ensayos de desempeño estructural, deflexiones con la Viga Benkelman.



