



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

## **ÁREA TÉCNICA**

### **TÍTULO DE MAGISTER EN INGENIERÍA VIAL**

**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.**

### **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**AUTOR:** Sarmiento Álvarez, Lenin Alfonso, Ing.

**DIRECTOR:** Tapia Chávez, Ángel Gullermo, Msc.

**LOJA - ECUADOR**

**2018**



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2018

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Magíster.

Ángel Guillermo Tapia Chávez

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación, denominado: Análisis de 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 la provincia de Loja, realizado por Sarmiento Álvarez Lenin Alfonso, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, febrero de 2018

f).....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Sarmiento Álvarez Lenin Alfonso declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Análisis de 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 la provincia de Loja, siendo Ángel Tapia Chávez director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autor: Sarmiento Álvarez Lenin Alfonso

Cédula: 1103875843

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico primeramente a Dios por ser quien me da este tipo de oportunidades y me brinda la guía adecuada, a mis familiares en especial a ese ser que me inculcó la lucha constante para superarme, mi ejemplo a seguir porque sin su esfuerzo, dedicación, su amor incondicional no hubiese podido conseguir una profesión. Gracias mamita Rosita.

**Lenin**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, a Dios y a mi Virgen Santísima del Cisne, por permitirme culminar una nueva etapa en mi vida profesional, por siempre derramar en mi perseverancia y voluntad para seguir adelante.

Mi agradecimiento a mi familia y mujer por ser mis pilares y quienes han estado presentes durante todo este proceso.

A un ser pequeñito que ilumino mi vida y genera en mi ese ímpetu, para seguir superándome en su beneficio, mi hijo.

Mi agradecimiento a ese gran grupo de maestros de quienes obtuvimos sus enseñanzas, para fortalecer conocimientos técnicos y desempeñarnos mejor como profesionales.

Mi sincera gratitud al MSc. Ing. Ángel Tapia, quien me ha orientado durante todo el desarrollo de mi tesis.

**Lenin**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA.....	I
<b>APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>II</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>ÍNDICE DE IMÁGENES .....</b>	<b>XV</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>4</b>
1.1. Objetivos .....	6
1.2. Metodología.....	6
1.3. Resultados.....	7
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>9</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>10</b>
2.1. Red Vial en Ecuador.....	10
2.1.1. Definición de Red Vial.....	10
2.1.2. Clasificación de la Red Vial Nacional.....	10
2.1.3. Composición de la Red Vial Estatal.....	11
2.1.4. Composición de la red vial de la provincia de Loja.....	12
2.2. Tipos de capa de rodaduras utilizadas en el Ecuador.....	13
2.3. Tipos de capa de rodaduras utilizadas en la provincia de Loja.....	13
2.3.1. Tratamiento Superficial Simple (TSS).....	14
2.3.2. Doble Tratamiento Superficial (DTS).....	15
2.3.3. Hormigón Asfáltico Mezclado en Planta (Carpeta Asfáltica).....	16
2.3.4. Tratamiento Superficial Simple con Lechada Asfáltica - Cape Seal. ..	17
2.3.5. Tratamiento Superficial Simple con Micropavimento Slurry - Cape Seal	18
2.3.6. Micropavimentos.....	19
2.4. Estabilización con emulsión asfáltica.....	19

2.4.1. Emulsiones asfálticas.....	19
2.4.1.1. Clasificación de las emulsiones asfálticas.....	20
2.4.1.2. Ventajas y limitaciones de las emulsiones asfálticas.....	21
2.4.1.3. Ensayos para las emulsiones asfálticas.....	22
2.5. Agregados pétreos.....	23
2.6. Comentarios del capítulo.....	25
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>27</b>
3. Desarrollo del caso de estudio: Vía Pindal-Milagros-Paletillas.....	28
3.1. Ubicación geográfica del caso en estudio.....	28
3.2. Inventario Vial (Antes de la pavimentación, con micropavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica).....	29
3.3. Datos generales del estudio para la pavimentación de base estabilizada con emulsión asfáltica y micropavimento.....	30
3.3.1. Tráfico.....	30
3.3.2. Clasificación de la vía según estudio.....	33
3.3.3. Criterios de diseño de la vía Pindal-Milagros-Paletillas.....	33
3.3.3.1. Confiabilidad.....	34
3.3.3.2. Desviación estándar (So).....	34
3.3.3.3. Desviación estándar normal (ZR).....	34
3.3.3.4. Serviciabilidad inicial (Po).....	35
3.3.3.5. Serviciabilidad final (Pt).....	36
3.3.3.6. Periodo de diseño (Pd).....	36
3.3.3.7. Coeficiente de drenaje (mi).....	36
3.3.4. Capacidad de Soporte de suelo (CBR de diseño).....	37
3.3.5. Estructura del pavimento para periodo de diseño (10 años).....	38
3.4. Sección típica en construcción de la vía Pindal-Milagros-Paletillas.....	39
3.5. Consideraciones en la Etapa de Construcción.....	40
3.5.1. Hidráulica.....	40
3.5.2. Geología.....	40
3.5.3. Fuentes de materiales.....	41
3.5.3.1. Mina Potrerillos.....	41
3.5.3.2. Cantera Conventos.....	42
3.6. Proceso constructivo.....	42
3.6.1. Subrasante.....	43
3.6.1.1. Escarificación y homogeneización de la subrasante.....	43
3.6.1.2. Humectación o aireación del suelo de subrasante.....	43

3.6.1.3.	Compactación de la subrasante.....	44
3.6.1.4.	Recepción de la capa de subrasante.....	45
3.6.2.	Capa de sub-base.....	46
3.6.2.1.	Escarificación del material de protección de la subrasante.....	46
3.6.2.2.	Colocación del material de sub-base.....	46
3.6.2.3.	Distribución del material de sub-base.....	47
3.6.2.4.	Compactación de la capa de sub-base.....	48
3.6.2.5.	Recepción de la capa de sub-base.....	48
3.6.2.6.	Protección de la capa liberada de sub-base.....	49
3.6.3.	Capa de Base.....	49
3.6.3.1.	Escarificación del material de protección de la sub-base.....	50
3.6.3.2.	Colocación del material de base.....	50
3.6.3.3.	Distribución del material de base.....	51
3.6.3.4.	Compactación de la capa de base.....	51
3.6.3.5.	Recepción de la capa de base.....	51
3.6.4.	Capa de base estabilizada con emulsión asfáltica.....	52
3.6.4.1.	Colocación del material de base para estabilizar con emulsión asfáltica.....	52
3.6.4.2.	Distribución del material de base.....	53
3.6.4.3.	Compactación de la capa de base con emulsión asfáltica.....	55
3.6.4.4.	Recepción de la capa de base con emulsión asfáltica.....	56
3.6.5.	Micropavimento.....	57
<b>CAPÍTULO IV</b>	.....	<b>59</b>
4.	Diseño y Costos.....	60
4.1.	Trabajos de campo para obtener los parámetros de diseño.....	60
4.1.1.	Tráfico:.....	60
4.1.2.	Cálculo del número de ejes equivalentes:.....	62
4.1.3.	Análisis de la subrasante:.....	63
4.2.	Diseño del pavimento y secciones típicas del mismo.....	67
4.2.1.	Criterios de diseño.....	67
4.2.2.	Parámetros de diseño.....	68
4.2.3.	Determinación del CBR de la subrasante.....	69
4.2.4.	Material pétreo para la estructura del pavimento.....	71
4.2.4.1.	Material para mejoramiento de la subrasante.....	71
4.2.4.2.	Material para sub-base.....	72
4.2.4.3.	Material para Base Granular.....	74

4.2.4.4.	Material para Base estabilizada con emulsión asfáltica.....	74
4.2.4.5.	Ensayos del material granular para determinar la compatibilidad con la emulsión asfáltica. ....	76
4.2.4.5.1.	Evaluación de material granular para base estabilizada con emulsión asfáltica:	78
4.2.4.6.	Determinación de los coeficientes estructurales:.....	80
4.3.	Cálculos de la estructura del pavimento con diferentes capas de rodadura. .	82
4.3.1.	Cálculo de espesores para periodo de diseño 10 años, con micropavimento y base estabilizada. ....	83
4.3.2.	Cálculo de espesores para periodo de diseño 10 años, con carpeta asfáltica.	85
4.3.3.	Cálculo de espesores para periodo de diseño 10 años, con doble tratamiento superficial bituminoso.....	86
4.3.4.	Sección típica con diferentes capas de rodadura .....	88
4.4.	Costos de sub-base, base y base estabilizada con emulsión asfáltica.....	89
4.5.	Doble tratamiento superficial (DTSB).....	89
4.5.1.	Descripción. ....	89
4.5.2.	Desempeño y vida útil esperada. ....	90
4.5.3.	Costo anual equivalente sin transporte. ....	95
4.5.4.	Costo anual equivalente con transporte .....	95
4.6.	Micro-Pavimento.....	97
4.6.1.	Descripción. ....	97
4.6.2.	Agregados.....	97
4.6.3.	Emulsión Asfáltica.....	98
4.6.4.	Desempeño y vida útil esperada .....	98
4.6.5.	Costo anual equivalente sin transporte .....	99
4.6.6.	Costo anual equivalente con transporte .....	99
4.7.	Hormigón Asfáltico o carpeta asfáltica .....	100
4.7.1.	Agregados.....	101
4.7.2.	Riego de imprimación. ....	101
4.7.3.	Fabricación de la mezcla asfáltica.....	102
4.7.4.	Transporte y distribución de la mezcla. ....	102
4.7.5.	Emparejamiento de la mezcla. ....	103
4.7.6.	Compactación. ....	104
4.7.7.	Recepción de la capa con mezcla asfáltica. ....	104
4.7.8.	Desempeño y vida útil esperada .....	105
4.7.9.	Costo anual equivalente sin transporte .....	105

4.7.10. Costo anual equivalente con transporte .....	105
<b>CAPÍTULO V</b> .....	108
5. Discusión y análisis.....	109
5.1. Análisis de Costos. ....	111
5.1.1. Costo por m <sup>2</sup> del paquete estructural del pavimento con diferente capa de rodadura sin incluir el transporte. ....	111
5.1.2. Costo por m <sup>2</sup> del paquete estructural del pavimento con diferente capa de rodadura más transporte.....	114
5.2. Costo de un Km de vía .....	117
5.3. Costo Anual Equivalente (C.A.Eq.).....	118
5.4. Plazos y calidad de ejecución.....	119
<b>CONCLUSIONES</b> .....	123
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	126
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	127
<b>ANEXOS</b> .....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Red Vial Estatal .....	12
Tabla 2: Red Vial Provincia de Loja .....	12
Tabla 3: Tipo de superficie red vial estatal .....	13
Tabla 4: Condición y tipo de superficie de rodadura de la vialidad provincial y vecinal en los 16 cantones de la Provincia de Loja (valores en Km.).....	14
Tabla 5: Requisitos de emulsiones asfálticas catiónicas 810.4-2 .....	24
Tabla 6: Franjas Granulométricas 404-4.1 .....	25
Tabla 7: Coordinadas Vía Pindal – Milagros - Paletillas.....	28
Tabla 8: Velocidad de circulación antes del mejoramiento.....	30
Tabla 9: Tráfico diario semanal (Pindal – Ye Del Guando).....	31
Tabla 10: Tráfico diario semanal (Ye del Guando - Paletillas).....	31
Tabla 11: Tasas de crecimiento anual de tráfico vehicular .....	32
Tabla 12: Tráfico Proyectado Pindal – Ye del Guando.....	32
Tabla 13: Tráfico Proyectado Ye del Guando – Paletillas .....	33
Tabla 14: Niveles de confiabilidad recomendado .....	34
Tabla 15: Valores de Desviación Normal estándar $Z_R$ .....	35
Tabla 16: Serviciabilidad inicial .....	35
Tabla 17: Serviciabilidad final .....	36
Tabla 18: Tiempos de salida del agua .....	37
Tabla 19: Porcentaje de tiempo con niveles de saturación.....	37
Tabla 20: CBR de diseño adoptado en el estudio .....	37
Tabla 21: Espesores de la estructura.....	38
Tabla 22: Espesores de la estructura.....	38
Tabla 23: Ubicación de fallas .....	41
Tabla 24: Características físico-mecánicas.....	42
Tabla 25: Características físico-mecánicas.....	42
Tabla 26. Clasificación de carreteras MTOP .....	62
Tabla 27. Cálculo de número de ejes equivalentes. Tramo 1.....	63
Tabla 28. Cálculo de número de ejes equivalentes. Tramo 2.....	63
Tabla 29. Ensayos a subrasante.....	64
Tabla 30. Datos obtenidos en campo y laboratorio .....	65
Tabla 31. Características físico – mecánicas del material de subbase clase III, mina Potrerillos.....	73

Tabla 32. Granulometría de material de subbase clase III, mina Potrerillos.....	73
Tabla 33. Características físico – mecánicas del material para base estabilizada.....	75
Tabla 34 Granulometría de material de base estabilizada tipo B, mina Potrerillos .....	75
Tabla 35. Estabilidad y flujo para una base estabilizada con emulsión .....	79
Tabla 36. Determinación del contenido de asfalto, mina Potrerillos .....	80
Tabla 37. Coeficientes estructurales capas del pavimento. Tramo 1, Pindal - Y Paletillas ..	82
Tabla 38. Coeficientes estructurales de las capas del pavimento base estabilizada más micropavimento .....	83
Tabla 39. Espesores de la estructura del pavimento con micropavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica.....	84
Tabla 40. Coeficientes estructurales de las capas, carpeta asfáltica.....	85
Tabla 41. Espesores de la estructura de pavimento con carpeta asfáltica .....	86
Tabla 42. Coeficientes estructurales de las capas .....	86
Tabla 43. Espesores de la estructura del pavimento con DTSB.....	87
Tabla 44. Espesores de la estructura del pavimento.....	88
Tabla 45: Vida de servicio esperada por nivel de tránsito DTSB. NZ RAMM Manual. ....	90
Tabla 46. Análisis de precios sub-base clase III.....	91
Tabla 47. Análisis de precios base clase I .....	92
Tabla 48. Análisis de precios base estabilizada con emulsión .....	93
Tabla 49. Análisis de precios transporte .....	94
Tabla 50. Análisis de precios Doble tratamiento superficial bituminoso .....	96
Tabla 51 Granulometrías micropavimnto Tipo MTOP .....	98
Tabla 52. Análisis de precios Micropavimento .....	100
Tabla 53. Análisis de precios carpeta asfáltica.....	107
Tabla 54. Costo por m <sup>2</sup> de las capas que componen la estructura del pavimento .....	111
Tabla 55. Costo por m <sup>2</sup> de un pavimento con diferentes capas de rodadura.....	114
Tabla 56. Costo por m <sup>2</sup> de un pavimento con diferentes capas de rodadura más transporte .....	115
Tabla 57. Costo por Km del pavimento .....	117
Tabla 58. Costo anual equivalente.....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto.....	28
Figura 2. Trazado Vial.....	29
Figura 3. Sección Típica de la vía Pindal-Y del Guando .....	39
Figura 4. Sección Típica Y del Guando-Paletillas .....	39
Figura 5. Cuneta lateral tipo contratada .....	40
Figura 6. Determinación numero estructural .....	68
Figura 7. Ubicación de la mina Potrerillos y cantera Conventos.....	72
Figura 8. Cálculo del número estructural de la Subrasante .....	83
Figura 9. Cálculo del pavimento con base estabilizada y micropavimento .....	84
Figura 10. Cálculo del pavimento con carpeta asfáltica .....	85
Figura 11. Cálculo del pavimento con DTSB.....	87
Figura 12. Sección Típica adoptada para el análisis de los diseños.....	88
Figura 13. Sección Típica para determinar el costo por Km.....	117
Figura 14. Tiempo de ejecución vs dificultad de ejecución.....	120

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Red Vial Provincia de Loja.....	13
Gráfico 2. a, b, Tráfico semanal de tramo I, tramo II, Via Pindal .....	60
Gráfico 3. Composición Vehicular .....	61
Gráfico 4. Composición Vehicular .....	61
Gráfico 5. Cálculo de CBR subrasante, vía Pindal – Milagros - Paletillas.....	70
Gráfico 6. Curva granulométrica de material de subbase clase III, Mina Potrerillos .....	74
Gráfico 7. Curva de material de base estabilizada granulometría tipo B .....	76
Gráfico 8. Costo por m <sup>2</sup> de las capas que componen la estructura de pavimento con diferentes capas de rodadura .....	112
Gráfico 9. Costo por m <sup>2</sup> de las capas: capa de rodadura y base.....	113
Gráfico 10. Costo por m <sup>2</sup> de la estructura de pavimento por tipo de capa de rodadura.....	114
Gráfico 11. Costo por m <sup>2</sup> por tipo de capa de rodadura más transporte.....	115
Gráfico 12. Costo por m <sup>2</sup> por tipo de capa de rodadura más transporte.....	116
Gráfico 13. Costo anual equivalente .....	118
Gráfico 14. Costo anual equivalente por estructura de pavimento .....	119
Gráfico 15. Impacto ambiental comparativo para tres tecnologías de capa de protección asfáltica (adaptado de (Takamura, 2001)) .....	122

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Escarificación, aireación de subrasante vía Pindal-Paletillas.....	43
Imagen 2. Humectación de subrasante, vía Pindal-Paletillas .....	44
Imagen 3. Compactación para conformación de acabado de obra básica, vía Pindal-Paletillas .....	45
Imagen 4. Control de calidad de acabado de obra básica, toma de densidades, vía Pindal-Paletillas personal de fiscalización.....	46
Imagen 5. Tendido de material de subbase clase III, vía Pindal-Paletillas .....	47
Imagen 6. Tendido de material de subbase clase III, vía Pindal-Paletillas .....	47
Imagen 7. Compactación de material de subbase clase III, vía Pindal-Paletillas.....	48
Imagen 8. Control de calidad de la subbase clase III, vía Pindal-Paletillas, personal de fiscalización. ....	49
Imagen 9. Trituración de material para base, sector saucillo, vía Pindal-Paletillas.....	50
Imagen 10. (a, b): Tendido de material de base estabilizada con emulsión asfáltica, vía Pindal-Paletillas .....	53
Imagen 11. a, b, Mezclado de material de base estabilizada con emulsión asfáltica, vía Pindal-Paletillas .....	54
Imagen 12. Recicladora para inyectar emulsión asfáltica, vía Pindal-Paletillas.....	54
Imagen 13. Compactación de material de base con emulsión asfáltica, vía Pindal-Paletillas .....	55
Imagen 14. Compactación de material de base con emulsión asfáltica, vía Pindal-Paletillas .....	55
Imagen 15. Control de calidad de material de base, a. control de espesor, b. elaboración de briquetas en sitio, c. ensayo asfalto residual, d. ensayo Marshall, vía Pindal-Paletillas.....	56
Imagen 16. Micropavimentador, vía Playas - Yamana .....	57
Imagen 17. a y b, Colocación Micro-pavimento, vía Playas - Yamana .....	58
Imagen 18. Toma de datos Geogauge, vía Pindal-Paletillas abscisa 11+000 .....	70
Imagen 19. Material granular limpio, mina Potrerillos.....	77
Imagen 20. Ensayo Equivalente de Arena, mina Potrerillos.....	77
Imagen 21. Caras fracturadas, angularidad .....	78
Imagen 22. Ensayo de compatibilidad y peladura, mina Potrerillos.....	79
Imagen 23: Trituración de materiales para carpeta asfáltica .....	101
Imagen 24. a: barredora; b: Riego de imprimación .....	102
Imagen 25. Planta de fabricación de hormigón asfáltico .....	102
Imagen 26. a, b, Transporte y distribución de la mezcla .....	103

Imagen 27. a, b, Emparejamiento y distribución de la mezcla.....	103
Imagen 28. Compactación de la mezcla .....	104
Imagen 29. Densidades de la mezcla asfáltica .....	104

## RESUMEN

Actualmente las instituciones públicas en el país, encargadas del mantenimiento de la vialidad rural, buscan opciones para optimizar recursos económicos armonizados con el equilibrio ambiental; las emulsiones asfálticas cumplen con estos requisitos, como soluciones efectivas para la pavimentación de vías rurales con bajo tráfico.

Con la finalidad de arribar al objeto de esta investigación, se comparan diferentes tipos de capas de rodadura y sus respectivas estructuras bajo los criterios: inversión inicial por kilómetro, efectividad de la estructura de acuerdo a su costo anual equivalente y su facilidad para su mantenimiento.

Se analiza la aplicación de las emulsiones asfálticas con los pétreos del sector y a través de ensayos de laboratorio, análisis de costos y comparaciones de las diferentes combinaciones de los materiales y emulsión asfáltica identificar el impacto de nuevas alternativas de pavimentación.

Se concluye que las mezclas asfálticas en frío con emulsión asfáltica y agregados pétreos de la zona, generan un impacto en la construcción de pavimentos para vías rurales de bajo tráfico en la provincia de Loja, desde el punto de vista económico, ambiental y social.

**Palabras clave:** Base estabilizada, pavimentos rurales, micropavimento, emulsiones asfálticas.

## **ABSTRACT**

Currently, public institutions in the country, responsible for the maintenance of rural roads, seek options to optimize economic resources harmonized with the environmental balance; Asphalt emulsions meet these requirements, as effective solutions for the paving of rural roads with low traffic.

In order to arrive at the object of this investigation, different types of rolling layers and their respective structures are compared under the criteria: initial investment per kilometer, effectiveness of the structure according to its annual equivalent cost and ease of maintenance.

The application of asphalt emulsions with the stones of the sector is analyzed and through laboratory tests, cost analysis and comparisons of the different combinations of materials and asphalt emulsion to identify the impact of new paving alternatives.

It is concluded that the cold asphalt mixtures with asphalt emulsion and stone aggregates of the area, generate an impact in the construction of pavements for rural roads of low traffic in the province of Loja, from the economic, environmental and productive point of view.

**Keywords:** Stabilized base, rural pavements, micropavimento, asphalt emulsions

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## **1. INTRODUCCIÓN.**

Las vías como medio de desarrollo de territorios y asentamientos humanos, exige conectividad terrestre más expedita y segura, que favorezca la productividad del país; la vialidad en el Ecuador está marcada por un lento proceso de cambio tecnológico, precedido por oportunidades de inversión en la construcción, ampliación o mejora física de sus corredores viales.

A fin de garantizar las altas prestaciones de los usuarios en los corredores viales, corresponde desarrollar actividades de conservación y mantenimiento, para lo cual es necesario instaurar estrategias y políticas que optimicen el empleo de los escasos recursos económicos, con asistencia de tecnología eficiente que mejore la administración de las redes viales.

La red vial primaria del Ecuador es de aproximadamente 9.000 Km; las redes secundaria y terciaria, alcanzan aproximadamente 44.000 Km de longitud, con una composición diferente en cuanto a su capa de rodadura, como: terrecerías, lastre, gravas, tratamientos asfálticos superficiales, concreto asfáltico y hormigón hidráulico.

El constante mal estado de la vialidad rural, implica para los usuarios altos costos de transporte y mayor tiempo en el traslado de personas como de mercaderías; limitando y retrasando significativamente las posibilidades de desarrollo de sus habitantes. El Estado Ecuatoriano, que administra la red vial nacional, debe implementar nuevas tecnologías de construcción, rehabilitación y mantenimiento; destinar los recursos necesarios para auscultar, observar, recoger información y administrarla para coadyuvar a la toma de decisiones de las autoridades seccionales en lo que a vialidad se refiere.

Las Entidades Públicas encargadas de mantener la red vial terciaria, en la necesidad de cumplir con la ejecución de su Plan Vial Plurianual, analiza distintas formas de solución a las necesidades de transporte de sus habitantes, de tal manera que esta red, preste el servicio durante todas las épocas del año, brindando una importante mejora en la calidad de vida de quienes las utilizan. En el país particularmente en la provincia de Loja, donde se desarrolló la presente investigación, las técnicas constructivas más comunes que encontramos en las vías rurales son: lastrados, doble tratamiento superficial bituminoso (DTSB), concreto asfáltico y en los últimos años concreto hidráulico, soluciones que no pueden ser

implementadas con mayor regularidad, por la falta de recursos económicos de las entidades seccionales.

En términos muy amplios, se justifica pavimentar una vía en afirmado cuando los costos de provisión y mantenimiento de la vía pavimentada, más los de operación de los vehículos que circulen sobre ella, resulten inferiores a los costos de mantenimiento y operación de la vía sin pavimentar (Sanchez, 2005).

### **Identificación del problema y justificación:**

La Prefectura de Loja, tiene entre sus competencias la vialidad rural en la provincia de Loja y, en el ejercicio de ésta, ha replicado metodologías constructivas en base a emulsiones asfálticas, que en el norte del país se han ejecutado con éxito. Este tipo de metodologías son muy usuales en otros países sobre todo cuando se trata de potenciar la red vial rural, en algunas ocasiones solo basta con mejorar las características de los suelos existentes. En el sector público ecuatoriano, la difícil y limitada situación económica, es un factor decisivo al momento de ejecutar proyectos viales, principalmente para la provincia de Loja con gran extensión de vías rurales de bajo tráfico.

La presente investigación se desarrollará en el proyecto vial que la Prefectura de Loja viene ejecutando en el cantón Pindal, cuyo objeto contractual es el “Mejoramiento de la vía Pindal – Milagros – Paletillas con Emulsión Asfáltica”. La estructura del pavimento en construcción está conformada por: sub-base, base estabilizada con emulsión asfáltica y como capa de rodadura micropavimento, constituyéndose en metodologías constructivas nuevas en el medio pero de amplia aceptación en los países desarrollados; no obstante son desvalorizadas por los profesionales de la localidad, dado el desconocimiento de las mismas, por lo que se justifica que sinteticemos este tipo de experiencias constructivas, con la finalidad que oriente a valorar su grado de aplicación en los plazos de ejecución, costos y calidad de construcción de caminos rurales (bajo tráfico) en la provincia de Loja. Busca también evaluar el impacto en su vida útil, esperando sea superior a un lastrado o dé el mismo servicio de un pavimento convencional, pero con un significativo ahorro económico.

La decisión de pavimentar una vía en afirmado depende de muchos factores técnicos, políticos, económicos, sociales; la aplicación de un sistema de administración de mantenimiento es el mejor recurso del que pueden disponer los gobiernos para determinar los tratamientos más efectivos a largo plazo para todas sus vías, controlar sus costos de mantenimiento e invertir los recursos de la manera más acertada (Torres Gracia, 2014).

## 1.1. Objetivos

La investigación persigue los siguientes objetivos:

### Objetivo general:

Analizar la aplicación de bases estabilizadas con emulsión asfáltica y 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.

### Objetivos específicos:

- ✓ Recopilar y estudiar antecedentes disponibles respecto a la aplicación de estas metodologías en el país y en el extranjero.
- ✓ Analizar y evaluar bases estabilizadas con emulsión asfáltica y micropavimento, con respecto a los métodos tradicionales en la provincia de Loja (carpeta asfáltica, doble tratamiento superficial bituminoso).
- ✓ Analizar el desempeño de las técnicas aplicadas en la vía Pindal Milagros Paletillas.

## 1.2. Metodología.

- a. Recopilar información relativa a la aplicación de estas metodologías constructivas, bases estabilizadas con capas de protección asfáltica. Especificaciones técnicas, estudios relacionados y definiciones de política de desarrollo vial relacionadas.
- b. Grados de aceptación, que presenta la construcción de bases estabilizadas con protección asfáltica en el país su difusión y resultados de éstas soluciones en otros países donde presentan mayor desarrollo.
- c. Estudio comparativo de costos por tipo de estructura de acuerdo a la protección asfáltica adoptada.

- d. Evaluación del costo anual equivalente de estas técnicas y comparación con el costo anual equivalente de un estándar tradicional de carpeta delgada con mezcla asfáltica en caliente y doble tratamiento.
- e. Control de calidad que se aplicaría en la etapa constructiva, si se da cumplimiento al diseño planteado.
- f. Recomendaciones y conclusiones para su adecuado uso en proyectos viales.

### **1.3. Resultados.**

- I. La aplicación de micropavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica, disminuye los plazos y costos de ejecución, y mejora considerablemente la calidad de la construcción.
- II. Las mezclas asfálticas en frío con emulsión asfáltica y agregados pétreos de la zona, generan un impacto en la construcción de pavimentos para vías rurales en la provincia de Loja, desde el punto de vista económico, ambiental y social; económico porque su costo anual equivalente es inferior al de una carpeta asfáltica o DTSB; ambiental porque reduce a una fracción los materiales pétreos, el uso de energía es mínimo, el micropavimento emite solo  $\frac{1}{4}$  de los gases de efecto invernadero que emite la pavimentación con asfaltos diluidos; social ya que brinda un mayor servicio a sus habitantes y contribuye al confort de los vehículos que transitan por el sector llevando mercadería.
- III. Las nuevas metodologías con la utilización de emulsiones asfálticas permiten reducir los costos directos de equipos y los tiempos de ejecución por kilómetro construido hasta en un 20% con relación a una carpeta asfáltica.
- IV. Un impacto positivo de la aplicación de estas metodologías constructivas es que al ser menos dependiente de la mano obra, reduce el riesgo de calidad final deficiente por mala operación y/o ejecución en el terreno. De acuerdo a estudios internacionales, el factor “experiencia del contratista”, que incluye la coordinación en la obra del equipo que aplica el sello y el conocimiento técnico de los encargados de obra, es el factor técnico no controlable que más incide en la calidad final lograda para este tipo de metodologías.

- V. Una capa de protección asfáltica como el micropavimento, mejora significativamente la calidad de terminación y durabilidad de la base estabilizada con emulsión asfáltica, su mantenimiento es menos costoso en relación a una carpeta asfáltica o un doble tratamiento superficial bituminoso.
  
- VI. El costoso anual equivalente es inferior si se utiliza micropavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica, en relación a una carpeta asfáltica o doble tratamiento superficial bituminoso.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Red Vial en Ecuador**

#### **2.1.1. Definición de Red Vial.**

De acuerdo a la Ley “Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre”, en su Art. 3, define a las vías terrestres, de la siguiente manera: “Las vías son las estructuras de diferentes tipos construidas para la movilidad terrestre de los vehículos y constituyen un esencial medio de comunicación que une regiones, provincias, cantones y parroquias de la República del Ecuador, cuya forma constitutiva contiene la plataforma de circulación que comprende todas las facilidades necesarias para garantizar la adecuada circulación, incluyendo aquella definida como derecho de vía y la señalización. El Reglamento General de esta Ley determinará su clasificación de acuerdo a su tipología, diseño, funcionalidad, dominio y uso”.

#### **2.1.2. Clasificación de la Red Vial Nacional.**

La ley del Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre, clasifica las vías en el siguiente contexto:

“Art. 4.- Red vial nacional. Se entiende por red vial nacional al conjunto de todas las carreteras y caminos existentes en el territorio ecuatoriano que componen el sistema vial nacional. La red vial nacional, en razón de su jurisdicción y competencia, está integrada por la red vial estatal, regional, provincial y cantonal urbana”.

“Art. 5.- Red vial estatal. Se considera como red vial estatal, cuya competencia está a cargo del gobierno central, al conjunto de vías conformadas por las troncales nacionales que a su vez están integradas por todas las vías declaradas por el ministerio rector como corredores arteriales o como vías colectoras.- Son corredores arteriales aquellas vías de integración nacional, que entrelazan capitales de provincias, puertos marítimos, aeropuertos, pasos de frontera y centros de carácter estratégico para el desarrollo económico y social del país.-Son vías colectoras aquellas vías que tienen como función colectar el tráfico de las zonas locales para conectarlos con los corredores arteriales, bajo el principio de predominio de la accesibilidad sobre la movilidad.-El ente rector podrá declarar una vía como corredor arterial o vía colectora como parte de la red vial nacional”.

“Art. 6.- Red vial regional. Se define como red vial regional, cuya competencia está a cargo de los gobiernos autónomos descentralizados regionales, al conjunto de vías que unen al menos dos capitales de provincia dentro de una región y que sean descentralizadas de la red vial estatal”.

“Art. 7.- Red vial provincial. Se define como red vial provincial, cuya competencia está a cargo de los gobiernos autónomos descentralizados provinciales, al conjunto de vías que, dentro de la circunscripción territorial de la provincia, no formen parte del inventario de la red vial estatal, regional o cantonal urbana. El Reglamento General de esta Ley determinará la característica y tipología de la red vial provincial”.

“Art. 8.- Red vial cantonal urbana. Se entiende por red vial cantonal urbana, cuya competencia está a cargo de los gobiernos autónomos descentralizados municipales o metropolitanos, al conjunto de vías que conforman la zona urbana del cantón, la cabecera parroquial rural y aquellas vías que, de conformidad con cada planificación municipal, estén ubicadas en zonas de expansión urbana.- Dado que la conectividad y movilidad es de carácter estratégico, cuando una vía de la red vial nacional, regional o provincial atraviese una zona urbana, la jurisdicción y competencia sobre el eje vial, pertenecerá al gobierno central, regional o provincial, según el caso”.

### **2.1.3. Composición de la Red Vial Estatal.**

De acuerdo al Plan Vial, el Ecuador posee 12 corredores arteriales; precisando a los caminos de alta jerarquía funcional como los que conectan las capitales de provincia, los principales puertos marítimos con el Oriente, pasos de frontera que se utilizan para traslados de mayores distancias y alta movilidad, accesibilidad reducida y/o controlada en su recorrido, giros y maniobras controlados; y, estándares geométricos adecuados, que permitan una operación eficiente de trabajo y garantice seguridad.

Así mismo el Plan Vial, identifica que el Ecuador posee 39 vías colectoras; delimitando a los caminos de mediana jerarquía funcional, que tiene como función recoger el tráfico de las zonas rurales o una región, que a través de caminos locales se articulan a la red estratégica de corredores arteriales.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), es quien administra la red vial Estatal, que está formada por 12 corredores arteriales y 39 colectoras es decir el 66% y 34% respectivamente, en relación a los 8662.974 Km de caminos.

Tabla 1: Red Vial Estatal

Descripción	Longitud (Km)
Corredores arteriales	5735.311 Km
Vías colectoras	2927.663 Km
<b>Red vial estatal</b>	<b>8662.974 Km</b>

Fuente: Plan Vial 2002  
Elaborado por: Plan Vial 2002

#### 2.1.4. Composición de la red vial de la provincia de Loja

La provincia de Loja, está constituida por una red vial que abarca 6373.56 kilómetros, de estos el 12.95% pertenece a la red vial estatal; la red provincial la compone el 5.28%; y, el 81.77% corresponde a caminos vecinales (Plan Vial de la Provincia de Loja). En la tabla 2 se puede observar en kilómetros, las vías estatales (E), provinciales (P), y vecinales (V) que corresponden a cada uno de los cantones de la provincia de Loja.

Tabla 2: Red Vial Provincia de Loja

Cantón	E (km)	P (km)	V (km)	Total general	Porcentaje (%)
Calvas	38	43,5	443	524,5	8,23%
Catamayo	55,5	40	322,3	417,8	6,56%
Célica	77,5		316,6	394,1	6,18%
Chaguarpamba	42,5	12	137,78	192,28	3,02%
Espíndola		63,3	235,95	299,25	4,70%
Gonzanama	41,5	8	428,95	478,45	7,51%
Loja	184,41	43	599,29	826,7	12,97%
Macara	82,5		221,85	304,35	4,78%
Olmedo	27,5		79,2	106,7	1,67%
Paltas	84		560,5	644,5	10,11%
Pindal	36		154,6	190,6	2,99%
Puyango	42,2		360,5	402,7	6,32%
Quilanga		31,4	88,25	119,65	1,88%
Saraguro	50,5	95,6	426,18	572,28	8,98%
Sozoranga	37		192,8	229,8	3,61%
Zapotillo	26		643,9	669,9	10,51%
<b>Total general</b>	<b>825,11</b>	<b>336,8</b>	<b>5.211,65</b>	<b>6.373,56</b>	<b>100%</b>
<b>Porcentajes</b>	<b>12,95%</b>	<b>5,28%</b>	<b>81,77%</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Plan Vial de la Provincia de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

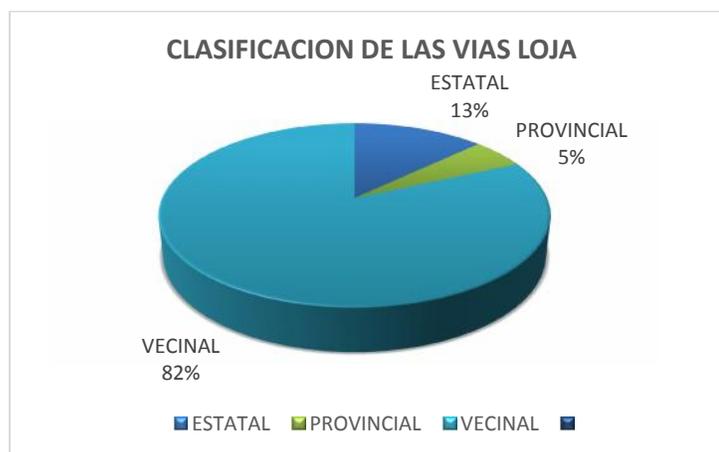


Gráfico 1: Red Vial Provincia de Loja  
 Fuente: Plan Vial de la Provincia de Loja  
 Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

## 2.2. Tipos de capa de rodaduras utilizadas en el Ecuador.

En Ecuador la red vial estatal posee la mayor cantidad de vías con capa de rodadura destacando superficies como carpeta asfáltica, DTSB, y en menor porcentaje, superficies de hormigón hidráulico, (tabla 3).

Tabla 3: Tipo de superficie red vial estatal

Tipo de Superficie	Corredores Arteriales		Vías Colectoras		Red Estatal	
	(Km)	%	(Km)	%	(Km)	%
Hormigón	12.003	0%	17.577	1%	29.580	0%
Carpeta Asfáltica	3119.976	55%	1877.447	64%	4997.423	58%
Tratamiento Bituminoso	1058.369	18%	305.479	10%	1363.848	16%
Grava	1538.811	27%	700.090	24%	2238.901	26%
Empedrado	4.552	0%	0.938	0%	5.490	0%
Tierra	0.000	0%	26.132	1%	26.132	0%
<b>Total</b>	<b>5733.711</b>	<b>100%</b>	<b>2927.663</b>	<b>100%</b>	<b>8661.374</b>	<b>100%</b>

Fuente: Plan Vial 2002

Elaborado por: Plan Vial 2002

Nota 1: No se contabilizo 1,60 Km. estimados para el puente Bahía –San Vicente por cuanto aún no había sido construido.

## 2.3. Tipos de capa de rodaduras utilizadas en la provincia de Loja.

Aproximadamente el 70% de la vialidad en la provincia de Loja, se encuentra en mal estado principalmente por que menos del 1% posee una capa de rodadura con revestimiento

asfáltico, el 73% son de tierra y el 26% lastre. En la tabla 4 consta, la condición y tipo de superficie de rodadura de la vialidad provincial y vecinal en los 16 cantones de la provincia de Loja, asfalto (A), lastre (L), y tierra (T).

Tabla 4: Condición y tipo de superficie de rodadura de la vialidad provincial y vecinal en los 16 cantones de la Provincia de Loja (valores en Km.)

CANTÓN	Bueno				Regular			Malo				Muy Malo			Total general	
	A	L	T	Total	L	T	Total	A	L	T	Total	L	T	Total		
CALVAS		15,5	5,6	21,1	63,2	16	79,2				346,5	346,5		39,7	39,7	486,5
CATAMAYO	14	20,1		34,1	74,4	7,5	81,9		6	207,1	213,1		33,2	33,2	362,3	
CELICA					51,5	28,5	80		19,7	191,4	211,1		25,5	25,5	316,6	
CHAGUARPAMBA		22,5		22,5	59,9	3,1	63		2,5	60,68	63,18		1,1	1,1	149,78	
ESPÍNDOLA		72,6		72,6	53,8	51,6	105,4		10	101,8	111,75		9,5	9,5	299,25	
GONZANAMA	6,63		7,77	14,4	8	116,9	124,91				284,6	284,64		13	13	436,95
LOJA	23,5	59,7	9	92,2	106,2	78,2	184,4		108,6	199,1	307,69	2	56	58	642,29	
MACARA					17,75	10,85	28,6		18,2	175,1	193,25				221,85	
OLMEDO		0,25		0,25	11,8	19,9	31,7		15	28,25	43,25		4	4	79,2	
PALTAS		3	8	11	3	39	42		57	227	284	1,5	222	223,5	560,5	
PINDAL		7	7	14					21	52,2	73,2		67,4	67,4	154,6	
PUYANGO					37,5	12,7	50,2		41,4	235,3	276,7		33,6	33,6	360,5	
QUILANGA					61,15	2	63,15			47,9	47,9		8,6	8,6	119,65	
SARAGURO		12,15	17	29,15	91,1	82,2	173,3	1	82	129,7	212,7	16,03	90,6	106,63	521,78	
SOZORANGA					20,6	8	28,6		13	92,1	105,1		59,1	59,1	192,8	
ZAPOTILLO		110		110	46,3	35,5	81,8		8	392,6	400,6		51,5	51,5	643,9	
Total general	44,13	322,8	54,37	421,3	706,2	512	1.218,20	1	402,4	2771	3174,7	19,53	714,8	734,33	5.548,45	
Porcentaje				7,59%			21,95%				57,22%			13,23%	100%	

Fuente: Plan Vial de la Provincia de Loja

Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

Las capas de rodadura que se emplean en el Ecuador para vías de la Red Vial Nacional (vías estatales, vías provinciales), según el Plan Vial Nacional como Provincial, son los siguientes:

### 2.3.1. Tratamiento Superficial Simple (TSS).

El proceso constructivo consiste en colocar una sola capa de agregados embebidos en material bituminoso, puede aplicarse sobre una base granular o capa de rodadura, la cual debe estar previamente imprimada. La vida útil sobre base granular de diseño, dependiendo del volumen de tráfico, es generalmente de un año; la durabilidad de un TSS responde a una base granular compacta, bien trabada, de superficie pareja, con poca o nula humedad superficial sin material suelto.

La imprimación asfáltica previa, actualmente no es una práctica frecuente, por razones económicas y ambientales, en otros países como Estados Unidos, emplean una mayor dosis

de bitumen con una gran fluidez que penetre la base y así adherirse a las capas que lo recibirá; es necesario que se cuide que el bitumen no sea tan fluido que pierda su capacidad de retención de las partículas de agregado.

Ventajas:

- Bajo costo
- Impermeabiliza la superficie
- Incrementa el índice de rugosidad de la vía
- Aumenta el drenaje superficial en la vía
- Rápida ejecución al construir
- La adecuada ejecución (Técnica constructiva), incrementa su resistencia al alto esfuerzo de corte causado por los neumáticos

Limitaciones:

- Disminución de resistencia al esfuerzo del corte
- Especialmente se utiliza para caminos de bajo niveles de tránsito, dependiendo de una correcta ejecución resistirá un tránsito moderado.
- No se presentan resultados óptimos sobre una base granular no compacta e irregular.

### **2.3.2. Doble Tratamiento Superficial (DTS).**

Este tratamiento, consiste en la aplicación de dos capas de bitumen y dos capas de agregado; se esparce una capa de bitumen, posteriormente una capa de agregado, y se repite el proceso para la segunda capa, considerando que el tamaño del agregado sea la mitad del agregado de la primera capa. Los tamaños medios de agregados utilizados son 19 mm (3/4") para la primera aplicación y 9,5 mm (3/8"), para una segunda aplicación.

Este tipo de soluciones, son más utilizadas para condiciones de tránsito medio y medio alto, por que mejora el desempeño de la superficie para el esfuerzo al corte.

Ventajas Importantes:

- Presenta mejores resultados en las zonas de giros cerrados, aceleración, zonas de frenado, pendientes, intersecciones o cruces, donde la superficie de contacto con el neumático tiene un alto esfuerzo cortante.
- Su vida útil, puede estar entre cuatro y ocho veces mayor que un tratamiento simple.

- Permite corregir irregularidades en la superficie.

Limitaciones:

- La cantidad de bitumen y el tipo de agregado en cada capa está directamente relacionado con la calidad DTS.
- Se presenta gran porcentaje de agregado desprendido a lo largo del camino, incluso meses después del inicio del tráfico.
- Este tipo de tratamientos tiene un costo hasta un cien por ciento más alto que un tratamiento simple.
- Muestra ahuellamiento por lugares de circulación de vehículos a medida que el sello se gasta a causa de la excesiva pérdida del agregado de la segunda capa o por afloramiento del bitumen, ya que los vacíos en el agregado van reduciéndose.
- El ruido que genera el tráfico en su superficie está directamente relacionado con los tamaños del agregado, de la técnica, así como de la experiencia del constructor.

### **2.3.3. Hormigón Asfáltico Mezclado en Planta (Carpeta Asfáltica)**

Consiste en la construcción de capas de rodadura de hormigón asfáltico, constituido por agregados de granulometría específica, material asfáltico, y relleno mineral de ser el caso, mezclados en caliente en una planta central, esto ira colocado sobre una base granular preparada previamente.

El hormigón asfáltico debe procurar una adecuada graduación de las fricciones de árido y el contenido del ligante, logrando relaciones volumétricas y mecánicas que permita valorar los riesgos de fisuras por fatiga o la formación de deformaciones plásticas permanentes.

La propiedad fundamental de una carpeta asfáltica en caliente, es su capacidad para deformarse sin llegar al punto de romperse al absorber esfuerzos relativamente elevados y repetidos (Gerardo Botasso, Julián Rivera, Oscar Rebollo, 2012).

Ventajas Principales:

- Da mejores resultados en las zonas de giros cerrados, aceleración, zonas de frenado, pendientes, intersecciones o cruces, donde la superficie de contacto con el neumático tiene un alto esfuerzo cortante.
- Mejora el índice de fricción
- No hay pérdida de agregado

- Con la ayuda de emulsiones modificadas con polímeros y agregados de mayor tamaño, se pueden mejorar las características que permitan soportar mayores cargas.
- Su vida útil, es superior a los demás tratamientos antes mencionados.
- Es factible corregir irregularidades en la superficie.

Limitaciones:

- La cantidad de bitumen y el tipo de agregado en cada capa, está directamente relacionado con las cargas que va soportar.
- Este tipo de tratamientos tiene un costo de hasta el cien por ciento más elevado que el doble tratamiento.
- Presenta ahuellamiento por áreas de circulación de los vehículos a medida que el sello se envejece, por afloramiento del bitumen ya que los vacíos en el agregado van reduciendo.

En Estados Unidos desde 1980, los micro-pavimentos son usados como una técnica de rehabilitación para pavimentos asfálticos; con un diseño adecuado seguido de una aplicación apropiada, los micro-pavimentos proporcionan buenos resultados para mejorar las características de fricción superficial, recuperación de ahuellamientos y pequeñas irregularidades, en vías tanto de alto como de bajo volumen de tráfico.

Dentro de las capas de rodadura que se emplean en otros países como Chile, Perú, Colombia, o Estados Unidos, para vías terciarias o rurales, tenemos las siguientes:

#### **2.3.4. Tratamiento Superficial Simple con Lechada Asfáltica - Cape Seal.**

Un tratamiento superficial con lechada asfáltica se lo define como un sello superficial en dos capas constituido por una primera similar al tratamiento superficial simple la misma que está cubierta por una segunda capa un sello Slurry, logrando de esta manera una superficie con una mejor textura rugosa que un tratamiento superficial simple.

El sello Slurry es una mezcla de agregados triturados de tamaño pequeño y bien graduados, con un bitumen emulsificado con aditivos, y se aplica en capas entre los 3 mm y los 8 mm. Este tipo de solución reduce significativamente la pérdida de agregado y disminuye el ruido por tráfico.

Sus principales ventajas son:

- En las zonas de giros cerrados, aceleración, zonas de frenado, pendientes, intersecciones o cruces, donde la superficie de contacto con el neumático tiene un alto esfuerzo cortante, presenta mejor desempeño
- No presenta exudación cuando ya está curado
- Su utilización es adecuada en áreas urbanas
- Mejora el índice de fricción
- Reduce la pérdida de agregado
- Con la ayuda de emulsiones modificadas con polímeros y agregados de mayor tamaño se mejora las características del sello slurry.
- Reduce el impacto ambiental principalmente por las emulsiones y baja emisión de kerosene presente en ellas.

Sus limitaciones son:

- Este tipo de aplicación no puede hacer sobre tratamientos superficiales nuevos o menor a dos años, debido a la exudación superficial que genera los diluyentes o kerosene.
- Para un adecuado curado de los sellos slurry es necesario que el día de su aplicación, así como los días subsiguientes la temperatura ambiental sea superior a los 10°C para prevenir el riesgo de mal curado y falla temprana.
- Requiere la utilización de dos tipos de equipos, para su aplicación.

Estas aplicaciones se están usando frecuentemente en el país, como opción para rejuvenecer la apariencia de la capa de superficie, así como disminuir los niveles de ruido por tránsito.

### **2.3.5. Tratamiento Superficial Simple con Micropavimento Slurry - Cape Seal**

Un tratamiento superficial con micropavimento slurry se define como un sello superficial en dos capas constituido por una primera capa similar al tratamiento superficial simple la misma que está cubierta por una segunda capa, un sello Slurry, con la diferencia que son emulsiones de rotura controlada y que son modificadas por polímeros y/o látex.

El micropavimento slurry es una lechada asfáltica mejorada con polímeros, por lo que tiene un mejor desempeño respecto a durabilidad y resistencia al esfuerzo de corte, puede colocarse en capas de hasta 15 mm sobre la corona del agregado de un tratamiento superficial, dejando un acabado superficial muy semejante a una carpeta asfáltica y por una fracción de su costo.

### **2.3.6. Micropavimentos**

El micro-pavimento (micro-Surfacing) es una mezcla asfáltica de alto rendimiento para pavimentación, compuesta de Agregados 100% triturados con granulometría bien definida, emulsión asfáltica modificada con polímeros, cemento portland, agua y aditivos para controlar la ruptura en campo. (Coyago Vega, 2015).

Son aplicados como tratamientos superficiales delgados de 10 a 13 mm de espesor, generalmente utilizados en mantenimiento preventivo y rehabilitación de superficies extendiendo así la vida útil de los pavimentos. Mejora las características de fricción en los pavimentos, no aumenta su resistencia estructural, por lo que se los usa en pavimentos cuya capacidad de carga vehicular tenga un remanente.

Los micros-pavimentos, han sido relegados muchas de la veces por factores externos como contratistas con falta de experiencia, agregados de mala calidad, inhabilidad de contratistas para obtener agregados con la granulometría requerida, rechazo de usuarios por desconocimiento de nuevas tecnologías, poca difusión de procedimientos de diseño en el país. La amplia variación de materiales permite tener resultados diferentes en cada proyecto donde se haya ejecutado esta aplicación. (Coyago Vega, 2015)

El criterio generalizado de la mayoría de los profesionales sobre las mezclas en frío, refieren a que son adecuadas para países en desarrollo, cuya vialidad está en aumento y el tráfico es bajo, lo que no corresponde con los datos estadísticos de los países más industrializados como Estados Unidos y Francia que son lo que tienen la mayor producción de emulsiones; Francia destina aproximadamente el 30% del consumo de su betún, para transformarse en emulsión.

## **2.4. Estabilización con emulsión asfáltica.**

### **2.4.1. Emulsiones asfálticas.**

Las emulsiones son dispersiones más o menos estables, de un líquido en otro, los mismos que son no miscibles entre sí, unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente.

Para lograr la dispersión y obtener una emulsión asfáltica, el cemento asfáltico, convenientemente fluido por calentamiento es introducido a un dispositivo dispersor de alta energía como un molino coloidal, conjuntamente con una solución precalentada de un agente tenso activo en agua. El asfalto se dispersa en forma de glóbulos, que se mantienen estables por la acción del emulsificante siendo su diámetro no mayor a 25 micrones aproximadamente, la mayoría de estos glóbulos son inferiores a 10 micrones.

Los emulsificantes son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado (entre 100 y 300), tiene una parte hidrofóbica y una parte hidrofílica, las moléculas tienen un extremo que manifiestan afinidad por el agua, y una larga cadena hidrocarbonatada, por su naturaleza orgánica es afín con el asfalto; es así que al ponerse en contacto en un molino coloidal las moléculas del emulsificante se orientan, creando una capa mono molecular.

Los emulsificantes permiten mantener los glóbulos de asfalto dispersos cargados eléctricamente en su superficie (positiva o negativa), siendo esta carga del mismo signo para todos los glóbulos, contribuyendo a su repulsión electrostática e impidiendo que se unan entre sí; así como también con lo cual serán atraídos o rechazados por el agregado. La tensión interfacial y la carga eléctrica son factores para la estabilidad de la emulsión.

#### **2.4.1.1. Clasificación de las emulsiones asfálticas**

Según su agente emulsificador se dividen en tres tipos:

La emulsión es catiónica cuando el glóbulo de asfalto, por presencia del emulsificante en su superficie, adquiere carga positiva; es aniónica, cuando el glóbulo de asfalto, por presencia del emulsificante en su superficie, adquiere carga negativa; y, es no iónica, cuando el glóbulo de asfalto, por presencia del emulsificante en su superficie, adquiere carga neutral. Las dos primeras son las utilizadas en la construcción y mantenimiento de carreteras. (Manual de Especificaciones MOP – 001 – F 2002, 2002).

Según su tiempo de rompimiento las emulsiones asfálticas pueden ser:

Rotura rápida, media y lenta, para su denominación se emplea RS, MS, SS, respectivamente, dependiendo del tipo de rompimiento y curado, será el uso que se le dará

a la emulsión asfáltica; rompimientos rápidos en caso de tratamientos superficiales o riego de sello; rompimientos lentos, en el caso que se requiera realizar un mezclado antes de ser utilizado como es el caso de mortero asfáltico o mezclas en frío. Las emulsiones catiónicas se diferencian anteponiendo a las siglas la letra C. (Manual de Especificaciones MOP – 001 – F 2002, 2002)

Las emulsiones asfálticas catiónicas, son más utilizadas en el Ecuador debido a la compatibilidad de la mayoría de los materiales pétreos, las técnicas en frío en el país siguen siendo reducidas y muy dependientes de la obra pública. (Coyago Vega 2015)

#### **2.4.1.2. Ventajas y limitaciones de las emulsiones asfálticas**

Las emulsiones asfálticas pueden tener las siguientes ventajas y limitaciones (Torres Gracia, 2014):

Ventajas técnicas:

- Para suelos de grano fino el mecanismo básico envuelto en la estabilización de estos suelos con asfalto es el de impermeabilización
- En razón que el suelo conserva cohesión, la función del asfalto es formar una membrana que impide la penetración del agua, previniendo cambios de volumen del suelo y reducciones en su resistencia y su módulo de elasticidad.
- En la estabilización con emulsión asfáltica de materiales granulares, el asfalto le aporta dos características: impermeabilización y adhesión, con esto el material reduce la tendencia a perder resistencia y módulo por la presencia del agua y también brinda cohesión aumentando la tendencia al corte, a la flexión y al módulo elástico.

Ventajas medioambientales:

- El uso de suelos existentes impide explotar nuevos yacimientos y reduce la necesidad de vertederos.
- La eliminación del transporte de los suelos disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como de otros contaminantes y reduce el daño que generan los combustibles y aceites, de igual forma los impactos colaterales (polvo, erosiones y otros) que provocan sobre las carreteras y sus entornos.

- La estabilización con emulsión asfáltica se puede realizar en obra a temperatura ambiente, por lo tanto, no requiere procesos de consumo de energía que puedan afectar el medioambiente.
- Además, como el medio dispersante es agua, las emulsiones no son inflamables ni emanan vapores de hidrocarburo hacia la atmósfera.

#### Ventajas económicas

- El uso de los suelos existentes trae implícito el ahorro económico, debido a que no se genera su retiro, la adquisición de un nuevo material con todo su proceso constructivo, el cual implica explotación en la fuente, transporte instalación y compactación.
- La obtención de bases de mayor calidad permite una economía en las capas superiores.
- Se disminuye el espesor total de la excavación, en caso de cambiar el material, frente a las alternativas con suelos sin tratar.

#### Limitaciones.

- Es posible que resulte más costoso el asfalto comparado con otros métodos de estabilización, no obstante, el costo sería menor que sustituir por completo el material.
- No es la opción más adecuada para estabilizar suelos con alto contenido de finos, lo correcto es que el suelo a tratar tenga un porcentaje menor al 20% de los mismos, ya que en cuanto más finos tenga, requiere mayor superficie específica del material, consecuentemente mayor consumo de asfalto, lo cual ya no sería rentable.

#### **2.4.1.3. Ensayos para las emulsiones asfálticas**

Las pruebas de laboratorio utilizadas para determinar las características de las emulsiones asfálticas son procedimientos normalizados bajo las normas americanas, método AASHTO T 59 y método ASTM D 244. (Coyago Vega, 2015)

#### **Composición:**

- Contenido de Agua
- Residuo por destilación

- Residuo por evaporación
- Carga de Partícula

**Consistencia:**

- Viscosidad

**Estabilidad:**

- Demulsibilidad
- Sedimentación
- Mezcla con cemento
- Ensayo de tamizado
- Recubrimiento
- Miscibilidad con agua
- Miscibilidad modificada con agua
- Congelamiento
- Habilidad de recubrimiento y resistencia al agua
- Estabilidad al almacenamiento de la Emulsión Asfáltica

Las especificaciones técnicas ecuatorianas para las emulsiones se rigen por las especificaciones internacionales y requisitos mínimos, de acuerdo a las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP – 001 –F 2002, son las que se describen en la tabla 5.

## **2.5. Agregados pétreos**

El material utilizado para estabilizar con emulsión asfáltica, tiene dos posibles procedencias; una de la escarificación de la capa de protección asfáltica o base existente, o un material nuevo donde se adicione la emulsión o puede ser el caso de ambos. Los materiales para estabilizar podrán ser; agregados pétreos o suelos naturales, los agregados pétreos podrán ser utilizados para todo tipo de tránsito, los suelos naturales solo para bases estabilizadas con niveles de tránsito inferiores a 500 000 ejes equivalentes, de acuerdo a la norma colombiana. (Torres Gracia, 2014)

Los agregados podrán proceder de la trituración de piedra de cantera, o de grava de río o estar constituidos por una mezcla de ambos. Es fundamental que estos agregados no contengan materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otra sustancia que pueda resultar

ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa estabilizada. (Torres Gracia, 2014)

Tabla 5: Requisitos de emulsiones asfálticas catiónicas 810.4-2

Propiedad	Rotura rápida				Rotura media				Rotura lenta			
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
VISCOSIDAD:												
Furol,a 25 gC, s.	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100
furol,a 50 gc, s.	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	-
Estabilidad al almacenaje 24 h, %	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsificación: 35 ml .8% sds, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUBRIMIENTO:												
agregado seco	-	-	-	-	Bueno		Bueno		-	-	-	-
luego rociado	-	-	-	-	Pobre		Pobre		-	-	-	-
agregado húmedo	-	-	-	-	Pobre		Pobre		-	-	-	-
luego rociado	-	-	-	-	Pobre		Pobre		-	-	-	-
Carga de partícula	+		+		+		+		+		+	
Mezcla con cemento	-	-	-	-	-		-		-	2	-	2
Ens. del tamiz	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1
Destilación: aceite												
Destilado %	-	3	-	3	-	12	-	12				
Residuo, %	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-
ENSAYOS EN EL RESIDUO:												
Penetracion, a 25 grados,100 gr, 5 s.	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90
ductilidad, a 25 grados, 5 cm/m, cm.	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en												
Tricloroetileno %	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-
Temperatura de empleo:												
Almacenamiento	50	85	50	85	50	85	50	85	10	60	10	60
Mezcla en planta	-	-	-	-	10	70	10	70	10	70	10	70
Mezcla en sitio	-	-	-	-	20	70	20	70	20	70	20	70
Tratamiento superficial	50	85	50	85	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes 2002  
Elaborado por: Ministerio de Obras Públicas y Transporte

En el país las especificaciones técnicas de agregados para base estabilizada con emulsión asfáltica, de acuerdo a las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP – 001 –F 2002, tendrán que cumplir con lo siguiente:

El agregado pétreo por estabilizar deberá presentar una gradación que se ajuste a alguna de las franjas señaladas en la Tabla 6.

Tabla 6: Franjas Granulométricas 404-4.1

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	A	B	C
2" (50.8 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
Nº 4 (4.75 mm.)	30-60	30-60	35-65
Nº 10 (2.00 mm.)	20-50	20-50	25-50
Nº 40 (0.425 mm.)	5-30	5-30	10-30
Nº 200 (0.075 mm.)	0-5	0-5	0-5

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes  
Elaborado por: Ministerio de Obras Públicas y Transporte

El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menos del 40% según la Norma INEN 860, su adhesividad será mayor al 95%.

El equivalente de arena se realizará en los agregados pasantes por el tamiz INEN 4.75 mm. Tendrá un valor mínimo de 35% según Norma ASTM D2419.

La porción de agregados que pasa el tamiz INEN 0.425 mm (No 40), deberá tener un índice de plasticidad menor a 4, según lo establecido en las normas INEN 691 y 692.

El máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas retenidas en el tamiz INEN 4.75mm cuya relación entre las dimensiones máximas y mínimas mayor que 5, no deberá ser mayor de un 10% según la Norma ASTM D4791.

Los agregados gruesos retenidos en el tamiz INEN 4.75 mm deben tener cierta angularidad, debiendo contener al menos el 75% en peso de elementos triturados que contengan dos o más caras fracturadas según la Norma ASTM D5821.

## 2.6. Comentarios del capítulo

En la actualidad el uso de mezclas asfálticas en caliente es una alternativa de costos elevados para la pavimentación de vías rurales de bajo tráfico, la Prefectura de Loja cuenta con 33 diseños con este tipo de soluciones que reposan en los archivos de la Institución, inejecutables por falta de presupuesto; en la búsqueda de alternativas viables y amigables con el medio ambiente las mezclas asfálticas en frío principalmente la utilización de

emulsiones y agregados pétreos proveniente de las vías existentes, representan una opción de uso preferencial para la construcción de un pavimento adecuado.

Potti y Martínez (Potti & Martinez, 2002) resalta que, debido a su gran versatilidad, el consumo de emulsiones asfálticas en muchos países ha aumentado, a pesar de ser un material relativamente sofisticado, ha tenido un crecimiento gradual desde sus inicios, dando lugar a la utilización de técnicas que permiten el desarrollo social. El uso de emulsiones nos permite obtener gran adhesividad con el agregado pétreo de origen natural y con elevados contenidos de finos de difícil eliminación; aprovechar los materiales granulares del sector, aun cuando sus características se encuentren fuera de la norma.

De la bibliografía revisada, se establece que la realidad es distinta en países como, por ejemplo Venezuela, a pesar de las ventajas positivas las emulsiones asfálticas en la construcción de pavimentos no han tenido total aceptación ni de entidades públicas ni mucho menos de la empresa privada, una de las razones para que esto se produzca es el desconocimiento de las bondades de las emulsiones asfálticas (Pierini, Bracho, & Gonzáles, 2010).

**CAPÍTULO III**  
**INVENTARIO VIAL**

### 3. Desarrollo del caso de estudio: Vía Pindal-Milagros-Paletillas

#### 3.1. Ubicación geográfica del caso en estudio.

La Vía Pindal-Milagros-Paletillas se encuentra ubicada en la provincia de Loja, una la cabecera cantonal de Pindal, con las cabeceras parroquiales de Milagros y Paletillas, ésta última perteneciente al cantón Zapotillo.

Tabla 7: Coordenadas Vía Pindal – Milagros - Paletillas

Sector	Norte (m)	Este (m)	Altitud (m.s.n.m.)
Entrada Ye Vía Pindal-Alamor	9'544.925,08	598.460,06	789,38
Ye del Guando	9'545.763,24	592.102,71	855,44
Paletillas	9'539.975,95	580.447.22	515.91

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

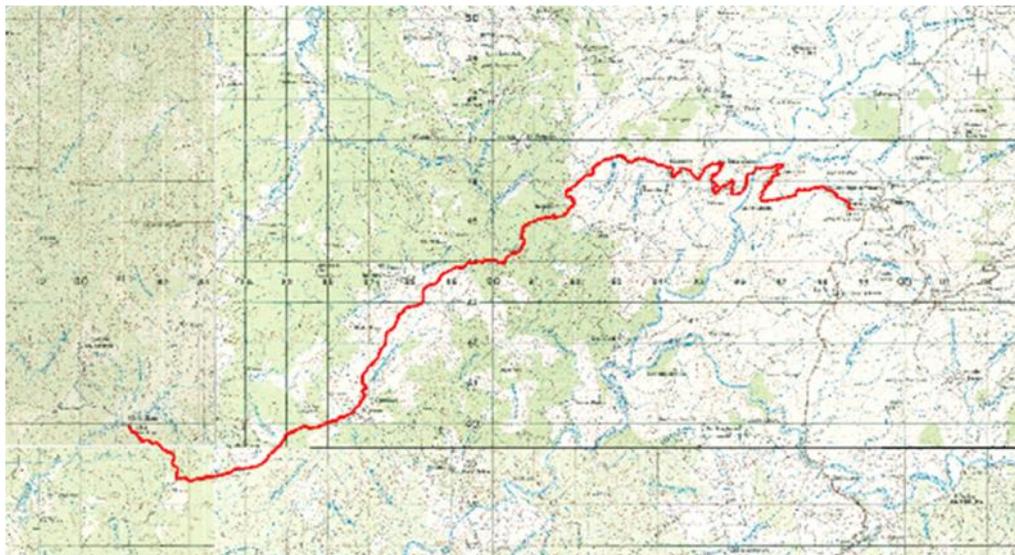


Figura 1. Ubicación del proyecto  
Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

La vía Pindal-Milagros-Paletillas, tiene una longitud de 29.6850 Km, su capa de rodadura es de lastre y se encuentra en regulares condiciones. El ancho de la vía predominante en el tramo Pindal-Milagros es de 7.00 m y en el tramo Milagros-Paletillas de 6.00 m. (Gobierno Provincial de Loja, 2015a)

Topográficamente la vía atraviesa por terrenos que tienen una configuración de tipo colinado-escarpado, topografía irregular con pendientes transversales mayores del 30 %, en algunos sectores con pendientes longitudinales mayores al 8 %. (Gobierno Provincial de Loja, 2015a)



Figura 2. Trazado Vial  
Fuente: El Autor  
Elaborado por: Lenin Sarmiento A.

### **3.2. Inventario Vial (Antes de la pavimentación, con micropavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica)**

Por ser una vía lastrada, requería de constantes intervenciones para mantenerla en condiciones regulares de transitabilidad; con un mantenimiento constante se controlaba el polvo durante la época de verano y la presencia de lodo en la época de invierno.

La vía, previo al inicio de los trabajos de pavimentación que actualmente ejecuta el Gobierno Provincial de Loja, contaba con las siguientes características y obras, información que se encuentra contenida en los estudios para la construcción de la vía: (Gobierno Provincial de Loja, 2015b)

- Número de curvas Horizontales = 322
- Pendientes Longitudinales: 10% y 15.20 % en dos tramos cortos
- Número de alcantarillas: 116 alcantarillas (circulares y de cajón)
- Cunetas: inexistentes
- Subdrenaje: Inexistente
- Señalización: Inexistente
- Muros de contención: Inexistentes

La vía en estudio al momento de su diseño contaba con una capa de rodadura conformada por material de mejoramiento, con espesores entre los 10 y 20 cm, este mejoramiento con el pasar de los años se ha ido mezclando con material del sitio contaminándolo; datos obtenidos de los recorridos a la vía en estudio.

### **3.3. Datos generales del estudio para la pavimentación de base estabilizada con emulsión asfáltica y micropavimento.**

#### **3.3.1. Tráfico**

En el estudio del Gobierno Provincial, se determinan puntos estratégicos para ubicar las estaciones de conteo vehicular, el primer punto se ubicó en la abscisa 0+000 inicio del proyecto en el tramo Pindal – Milagros, el segundo punto se ubicó en la Y de El Guando en el tramo Milagros – Paletillas.

Utilizando vehículos de prueba se determina la velocidad de circulación para vehículos livianos, buses y camiones como se indica en la tabla 8:

Tabla 8: Velocidad de circulación antes del mejoramiento

Ruta No.	Tramo	Longitud (Km)	Tiempo (min)	Velocidad (Km/h)	
				Calculada	Adoptada
1	Pindal - Milagros	9.16	15	36.64	40
2	Milagros - Paletillas	20.19	30	40.12	45

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

Para determinar el volumen de tráfico, se obtuvo una muestra representativa de la situación actual del tráfico vehicular existente en la vía de estudio, mediante conteo manual y clasificación vehicular. En el estudio se clasifica en tres grupos al tráfico: livianos, buses y pesados.

Livianos (VI): automóviles, camionetas de dos ejes de tracción sencilla o doble, posee una capacidad de carga de 910 kg.

Buses (Bus): buses para el servicio público, de dos o más ejes con seis o más ruedas, posee una capacidad de carga de 1500 kg o más que llevan pasajeros a la zona.

Pesados (C2, C3): camiones, remolques, semirremolques y volquetas, se caracterizan por ser destinados al transporte de carga, poseen dos o más ejes, ejes de doble llanta, y seis o más ruedas, su capacidad es variable.

El conteo vehicular se realizó en el año 2015 y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 9: Tráfico diario semanal (Pindal – Ye Del Guando)

Horas	VI	Bus	C2	C3	Total
00 A 06	4	0	2	0	6
06 A 12	54	2	22	2	80
12 A 18	31	4	11	2	48
	9	1	5	1	16
<b>Total</b>	<b>98</b>	<b>7</b>	<b>40</b>	<b>5</b>	<b>150</b>

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

Tabla 10: Tráfico diario semanal (Ye del Guando - Paletillas)

Horas	VI	Bus	C2	C3	Total
00 A 06	8	1	3	0	12
06 A 12	24	0	13	2	39
12 A 18	12	4	9	2	27
18 A 24	3	4	4	1	9
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>6</b>	<b>29</b>	<b>5</b>	<b>87</b>

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

La Institución en su estudio proyecta un 10% de tráfico generado y atraído, principalmente por ser una vía que conecta a la ciudad de zapotillo y se transporta los productos agrícolas de la zona; en vista que el País carece de indicadores para determinar las tendencias del tráfico a largo plazo, se utiliza las tasas de crecimiento anual de tráfico vehicular recomendados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas para la provincia de Loja.

Tabla 11: Tasas de crecimiento anual de tráfico vehicular

Provincia	Período	Tasas de crecimiento (%)		
		Liviano	Bus	Camión
Loja	2010-2015	3,97	1,97	1,94
	2015-2020	3,57	1,78	1,74
	2020-2030	3,25	1,62	1,58
	2030 -2040	3,09	1,50	1,50

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas  
 Elaborado por: Ministerio de Transporte y Obras Públicas

El tráfico asignado al proyecto está conformado por: tráfico existente, tráfico generado y tráfico atraído; el conteo vehicular fue actualizado al año 2016 con el fin de proyectar el tráfico a diez años, el tráfico generado y atraído incrementa un 10%.

Tabla 12: Tráfico Proyectado Pindal – Ye del Guando

Tráfico		Livianos	Buses	Pesados		Total
				2 Ejes	3 Ejes	
Tráfico existente 2015		98	7	40	5	150
Tráfico proyectado 2016		101	7	41	0	149
Tráfico generado después de 1 año		<b>116</b>	<b>8</b>	<b>45</b>	<b>6</b>	<b>175</b>
Año		Proyección				
0	2016	101	7	41	0	149
1	2017	116	8	45	6	175
2	2018	124	8	47	6	185
3	2019	129	8	47	6	190
4	2020	133	9	48	6	196
5	2021	136	9	49	6	200
6	2022	141	9	49	7	206
7	2023	145	9	50	7	211
8	2024	150	9	51	7	217
9	2025	155	9	52	7	223
10	2026	160	9	53	7	<b>229</b>

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
 Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

Tabla 13: Tráfico Proyectado Ye del Guando – Paletillas

Tráfico	Livianos	Buses	Pesados		Total	
			2 Ejes	3 Ejes		
Tráfico existente 2015	47	6	29	5	87	
Tráfico proyectado 2016	49	6	30	0	85	
Tráfico generado después de 1 año	<b>55</b>	<b>7</b>	<b>33</b>	<b>6</b>	<b>101</b>	
Año		Proyección				
0	2016	49	6	30	0	85
1	2017	55	7	33	6	101
2	2018	59	7	34	6	106
3	2019	61	7	35	6	109
4	2020	63	8	35	6	112
5	2021	65	8	36	6	115
6	2022	67	8	36	7	118
7	2023	69	8	37	7	121
8	2024	71	8	37	7	123
9	2025	73	8	38	7	126
10	2026	76	8	39	7	<b>130</b>

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

### 3.3.2. Clasificación de la vía según estudio.

De acuerdo al tráfico proyectado en el estudio del Gobierno Provincial de Loja y según las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transporte y Obras Públicas la vía en estudio corresponde a una vía Clase IV (Tabla 26). Conforme la proyección del periodo de diseño del tráfico promedio diario anual, y al ser el ancho predominante de vía existente de 6,00 m, en el estudio, la Institución Provincial adopta un ancho de vía de 6,00 m y dos cunetas de 0,60 m.

El proyecto considera el mejoramiento de las características geométricas de la vía, mejoramiento de la calzada, dos carriles de 3 m cada uno, una gradiente transversal para el pavimento del 2% de acuerdo a la clase de carretera; propone la colocación de un paquete estructural compuesto por sub-base, base estabilizada con emulsión asfáltica y sobre esta la colocación de micropavimento que servirá como capa de rodadura, trabajos a ejecutar a lo largo de los 29.6850 Km del proyecto.

### 3.3.3. Criterios de diseño de la vía Pindal-Milagros-Paletillas

El diseño de pavimento que el Gobierno Provincial de Loja adopta, se basa en el método AASHTO 93 pavimentos flexibles, pone énfasis en el estudio de la composición del tráfico, la

caracterización de los materiales de construcción, y los índices de servicio; así como el análisis de alternativas para seleccionar la más óptima en base a consideraciones técnicas y económicas.

### 3.3.3.1. Confiabilidad.

De acuerdo al método AASHTO 93, y en función del tipo de carretera colectora de tránsito se asume el valor de 95%. La selección del nivel apropiado de confiabilidad está basada en el uso esperado del pavimento de diseño, un valor alto significa un pavimento más costoso pero menores costos de mantenimiento y reparación. Un nivel de confiabilidad bajo indica un pavimento de bajo costo, pero con costos altos de mantenimiento y reparación. Este parámetro debería ser analizado principalmente por la poca cultura que se tiene en dar mantenimiento a las obras.

Tabla 14: Niveles de confiabilidad recomendado

	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras de tránsitos	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. P. II-9  
Elaborado por: AASHTO Guide for design of pavement structures

### 3.3.3.2. Desviación estándar (So)

La Guía AASHTO-93 recomienda adoptar para la desviación estándar  $S_0$ , valores comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

Pavimentos flexibles: 0,40 – 0,50:

- Construcción nueva                      0,45
- Sobre capas                                    0,50

La vía se considera nueva, por lo que se adopta como desviación estándar el valor de 0,45.

### 3.3.3.3. Desviación estándar normal (Z<sub>R</sub>).

El valor de la desviación normal está determinado en función de la confiabilidad (95%), considerando que la vía es una carretera local en un sector rural.

Tabla 15: Valores de Desviación Normal estándar  $Z_R$

Nivel de Confiabilidad R (%)	$Z_R$
50	0.000
60	- 0.253
70	- 0.524
75	- 0.674
80	- 0.841
85	- 1.037
90	- 1.282
91	- 1.340
92	- 1.405
93	- 1.476
94	- 1.555
95	- 1.645
96	- 1.751
97	- 1.881
98	- 2.054
99	- 2.327
99.9	- 3.090
99.99	- 3.750

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C.,  
Elaborado por: AASHTO Guide for design of pavement structures

De acuerdo al método de diseño AASHTO-93, para el valor de confiabilidad indicado, el valor de  $Z_R$  es – 1.645.

#### 3.3.3.4. Serviciabilidad inicial ( $P_o$ )

La serviciabilidad se evalúa por medio de un índice de servicio inicial, considerando la idoneidad del pavimento y que las condiciones que va a ofrecer la vía para el tráfico serán óptimas.

Tabla 16: Serviciabilidad inicial

Tipo de Pavimento	Serviciabilidad Inicial, $P_o$
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.  
Elaborado por: AASHTO Guide for design of pavement structures

Considerando los valores recomendados por la AASHTO, para el presente diseño se consideró el siguiente valor de serviciabilidad.

Serviciabilidad Inicial:  $P_0 = 4.2$

### 3.3.3.5. Serviciabilidad final (Pt)

La selección del índice de servicio final  $P_t$ , se debe basar en el índice más bajo que pueda ser tolerado antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación o una reconstrucción. Se sugiere para autopistas y vías principales un valor de 2.5 y para las demás carreteras un valor de 2.0.

Tabla 17: Serviciabilidad final

Tipo de Vía	Serviciabilidad Final, Pt
Autopista	2.5 – 3.0
Carreteras	2.0 – 2.5
<b>Zonas Industriales</b>	
Pavimento urbano principal	1.5 - 2.0
Pavimento urbano	1.5 - 2.0

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. P. II-10  
Elaborado por: AASHTO Guide for design of pavement structures

Considerando los valores recomendados por la AASHTO, para el presente diseño se consideró el siguiente valor de serviciabilidad final.

Serviciabilidad Inicial:  $P_f = 2$

### 3.3.3.6. Periodo de diseño (Pd).

El periodo de análisis es de 10 años, y de él dependen los espesores de las capas de material que forman la estructura del pavimento, esto está directamente relacionado con el valor por kilómetro de vía, limitado por los recursos que las instituciones públicas disponen para cada proyecto.

### 3.3.3.7. Coeficiente de drenaje (mi)

El método AASHTO recomienda de acuerdo con la calidad del drenaje, que se determina por el tiempo que demora el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento y el porcentaje

de tiempo del todo el año durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación. Determinando que la calidad del drenaje es la adecuada y que el porcentaje de tiempo de exposición de la estructura del pavimento se encuentra entre el 5 y el 25 %, se toma como coeficientes de drenaje: para la capa de Base 1,00 para la Sub-Base 0,90 y para la capa de material de mejoramiento 0,80.

Tabla 18: Tiempos de salida del agua

Calidad del drenaje	Tiempo recomendado de salida del agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	No drena

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. P. II-22  
Elaborado por: AASHTO Guide for design of pavement structures

Tabla 19: Porcentaje de tiempo con niveles de saturación

Calidad de Drenaje	Porcentaje de tiempo con la estructura expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menor 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor 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	1,0
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

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.  
Elaborado por: AASHTO Guide for design of pavement structures

### 3.3.4. Capacidad de Soporte de suelo (CBR de diseño).

El proyecto está dividido en dos tramos, puesto que en el tramo Pindal – Y del Guando hay una gran influencia de vehículos pesados. Los CBR de diseños obtenidos por el método del Instituto del Asfalto, adoptados en el estudio son los siguientes:

Tabla 20: CBR de diseño adoptado en el estudio

Tramo	CBR de Diseño
Pindal – Y del Guando (Tramo I)	9.4%
Ye de Guando – Paletillas (Tramo II)	5.9%

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

Los Módulos Resilientes obtenidos son:

Para, CBR = 9.4% ->  $MR = 1500 \times 9.4 = 14100.00$  PSI (Tramo I)

Para, CBR = 5.9% ->  $MR = 1500 \times 5.9 = 8850.00$  PSI (Tramo II)

### 3.3.5. Estructura del pavimento para periodo de diseño (10 años).

La estructura de pavimento, en el estudio del Gobierno Provincial de Loja se dividió en dos tramos de acuerdo al número de eje equivalentes por lo que se obtiene dos números estructurales de diseño (SN<sub>D</sub>); 2,47 para el Tramo Pindal -Y del Guando y 2,79 para el tramo Y del Guando – Paletillas. Realizado el cálculo de los espesores para las capas del pavimento se obtiene los siguientes resultados (tabla 21, 22):

Donde: SN = Numero estructural  
 SN<sub>D</sub> = Numero estructural de diseño  
 SN<sub>C</sub> = Numero estructural calculado

Pindal – Y del Guando:

Tabla 21: Espesores de la estructura

Capa	SN	Espesor (cm)
Micropavimento		1.5
Base estabilizada con emulsión asfáltica	2.11	15
Subbase granular clase 3	0.59	15
	2.70	31.5

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
 Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

$$SN_D < SN_C$$

$$2.47 < 2.70$$

Y del Guando – Paletillas:

Tabla 22: Espesores de la estructura

Capa	SN	Espesor (cm)
Micropavimento		1.5
Base estabilizada con emulsión asfáltica	2.11	15
Subbase granular clase 3	0.71	20
	2.82	36.5

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
 Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

$$SN_D < SN_C$$

$$2.79 < 2.82$$

### 3.4. Sección típica en construcción de la vía Pindal-Milagros-Paletillas.

La sección típica a construir para el tramo Pindal - Y del Guando tiene un ancho de calzada de 7,20 m, espaldones de 0,60 m y cunetas longitudinales de hormigón simple de 0.60 m a cada lado, con un ancho total de 8,40 metros, como se observa en la Figura 3.

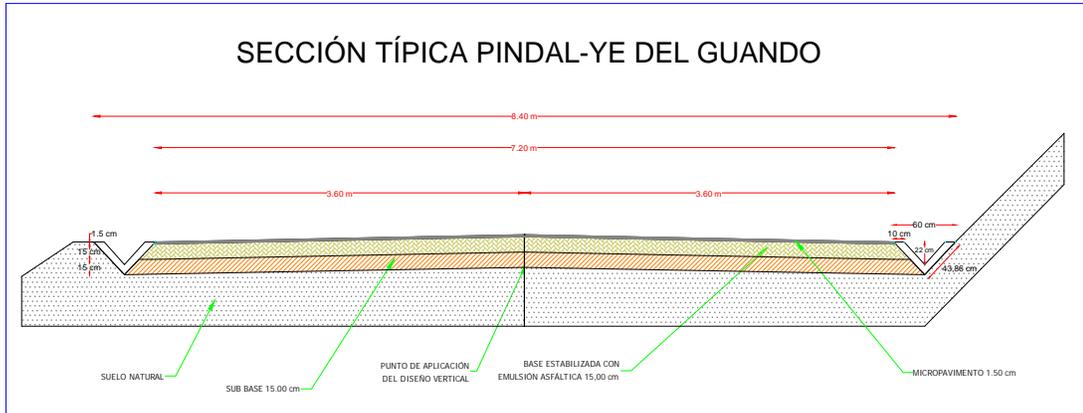


Figura 3. Sección Típica de la vía Pindal-Y del Guando  
Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

La sección típica a construir para el tramo Y del Guando-Paletillas tiene un ancho de calzada de 6.00 m y cunetas longitudinales de hormigón simple de 0.60 m a cada lado, con un ancho total de 7.20 m, como se observa en la Figura 4.

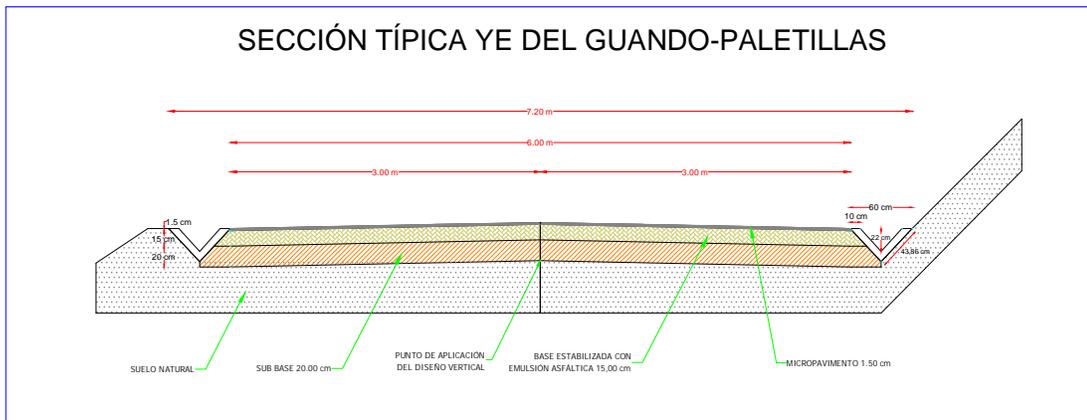


Figura 4. Sección Típica Y del Guando-Paletillas  
Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

### 3.5. Consideraciones en la Etapa de Construcción

El Gobierno Provincial de Loja licitó el proceso de contratación LICO-GPL-002-2016, a través del Sistema Oficial de Contratación del Estado (SOCE), con el objeto “Mejoramiento de la Vía Pindal-Milagros-Paletillas con Emulsión Asfáltica”; el monto referencial de la Institución provincial asciende a USD\$ 7 025,196.38, la obra se adjudicó al consorcio PMP por un monto de USD\$ 6 918,733.84, en un plazo de ejecución de 360 días a partir de la entrega del anticipo. La obra inicia el 1 de septiembre del 2016 y su fecha prevista de terminación es el 8 de agosto del 2017.

#### 3.5.1. Hidráulica.

De acuerdo al estudio el Gobierno Provincial de Loja, considera construir cunetas laterales a lo largo del proyecto a cada lado de la carretera; subdrenes paralelos a la vía dependiendo de los taludes, en cortes cerrados serán en los dos lados de la carretera. Para aliviar los problemas de las aguas lluvias se construirán zanjas de recolección en las zonas altas de los taludes de corte, los cálculos para las obras de arte de drenaje, fueron hechos en base a la estación pluviométrica de Alamor código M-437. (Gobierno Provincial de Loja, 2015b)

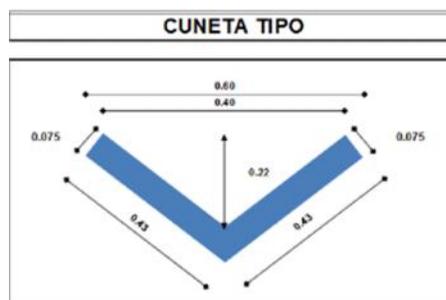


Figura 5. Cuneta lateral tipo contratada  
Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

#### 3.5.2. Geología.

El estudio del Gobierno Provincial de Loja, considera la intervención a los taludes con las siguientes características: talud para relleno 1.5H: 1.0V; talud para corte 1H: 2V y 1H:1V (H=horizontal, V=vertical).

Se identifican tres zonas de fallas a lo largo de la vía a construir:

Tabla 23: Ubicación de fallas

Sector	Coordenadas		Longitud (m)	Altura corte (m)	Horizontal (m)	Ángulo de inclinación	Estado	Talud H : V
	X	Y						
Zona 1 falla	597.732	9'545.472	20	5	5	48°	Inestable	2 : 1
Zona 1 falla	596.418	9'545.151	50	2	1	35°	Inestable	2 : 1
Zona 1 falla	595.565	9'545.279	3000	3	2	45°	Inestable	2 : 1

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

Zona 1 Falla: movimiento reptacional, con materiales de suelos arcillosos y suelos orgánicos. El material que presenta el movimiento se compone de detritos en: cantos rodados en un 10%, arcilla en un 70%, suelos orgánicos en un 10%, otros materiales (arenas, detritos y limos) 10 %.

Zona 2 Falla: movimiento trasnacional progresivo, con materiales de suelos arcillosos y suelos orgánicos. El material que presenta el movimiento se compone de detritos en: cantos rodados en un 10%, arcilla en un 70%, suelos orgánicos en un 10%, otros materiales (arenas, detritos y limos) 10 %.

Zona3 Falla: deslizamiento conjunto que implica un movimiento traslacional simple y un flujo de lodo con arrastre de detritos, con materiales de suelos arcillosos y orgánicos. El material que presenta el movimiento se compone de detritos en: cantos rodados en un 10%, arcilla en un 70%, suelos orgánicos en un 10%, otros materiales (arenas, detritos y limos) 10 %.

### 3.5.3. Fuentes de materiales

Para la extracción de materiales de: mejoramiento, sub-base, base, hormigones drenes, etc. se ha considerado las minas denominadas:

#### 3.5.3.1. Mina Potrerillos.

Localizada sobre el Río Catamayo, en el sector conocido como Potrerillos, a una distancia de 42 Km aproximadamente desde Pindal, el volumen estimado es de 100.000 m<sup>3</sup>. Las características físicas – mecánicas del material de la mina Potrerillos se encuentran descritas en la tabla 24:

Tabla 24: Características físico-mecánicas.

Ensayo	Especificaciones	Resultado
Desgaste a la Abrasión	< 40%	13%
C.B.R.	>= 80%	81%
Límite líquido	< 25 %	NP
Índice de plasticidad	< 6 %	NP
Pasante del Tamiz N° 200	< 20%	1.48

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

El material cumple con los requisitos de la normativa ecuatoriana para ser utilizado como base, subbase, y mejoramiento, el mismo que se deberá mezclar con otro material que le proporcione ligante. El material de esta mina servirá además como áridos para drenajes, hormigones rígidos y hormigones asfálticos.

### 3.5.3.2. Cantera Conventos.

Localizada a 4 Km dirigiéndose hacia el balneario Añalcal desde la Y de Añalcal, el volumen estimado es de 32 000 m<sup>3</sup>. Las características físico – mecánicas del material de la cantera conventos de encuentran descritas en la tabla 25:

Tabla 25: Características físico-mecánicas.

Ensayo	Especificaciones	Resultado
Desgaste a la Abrasión	< 50%	23%
C.B.R.	> 20%	49%
Límite líquido	< 35 %	32
Índice de plasticidad	< 9 %	13
Pasante del tamiz N° 200	< 20%	8%

Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Gobierno Provincial de Loja

### 3.6. Proceso constructivo.

Todo proyecto en ejecución tiene sus propias particularidades constructivas, las actividades que se realizan en la construcción de una carretera se encuentran reguladas, no obstante es necesario definir las; Bonett (BONETT SOLANO, 2014), elabora una guía del proceso constructivo para una vía nueva con pavimento flexible, conformado por una estructura del pavimento en orden ascendente. La presente investigación busca establecer un procedimiento constructivo común basado en Bonett, pero adaptado al medio bajo la normativa técnica ecuatoriana (especificaciones técnicas MTOP), permitirá determinar los costos, plazos, calidad, y el impacto de implementar pavimentos con emulsiones asfálticas.

### **3.6.1. Subrasante.**

La capa de subrasante, es mayoritariamente el terreno natural sobre el cual se construye la estructura del pavimento. De existir suelos de baja capacidad o poco uniformes se deben colocar materiales que permitan alcanzar homogeneidad, para evitar fallas o daños en los pavimentos. Para calificar como adecuada la capa de subrasante se debe ejecutar el trabajo de acabado de obra básica, el cual es evaluado de acuerdo a su compactación.

#### **3.6.1.1. Escarificación y homogeneización de la subrasante.**

Este proceso consiste en disgregar la superficie del suelo a lo largo y ancho de lo que será la calzada en una profundidad específica determinada por la fiscalización que suele ser por lo general 15 cm, con la finalidad que adquiera una condición suelta.

El equipo utilizado para este propósito es una tractor de orugas mediante sus escarificadores, en el caso del proyecto en estudio, la escarificación se la realizó con la ayuda de la motoniveladora o tractor de ruedas (imagen 6); para la eliminación de los elementos gruesos se emplean rastrillos extractores de piedra con varios dientes curvos. En el caso de encontrar estratos poco formes o inconformes serán repuestos por materiales calificados como mejoramiento.



Imagen 1. Escarificación, aireación de subrasante vía Pindal-Paletillas  
Fuente: El Autor  
Elaboración: Lenin Sarmiento A.

#### **3.6.1.2. Humectación o aireación del suelo de subrasante.**

Una vez ejecutada la escarificación y la homogeneización del material, mediante los sistemas de riego tradicionales (imagen 7) se humedece el suelo si está muy seco de acuerdo a la humedad especificada del material ha compactar, hasta llevarlo a una condición de  $\pm 2\%$  con respecto a la humedad óptima de compactación, obtenida en el laboratorio por medio del ensayo proctor. Si la humedad natural es mayor que la óptima, se deberá airear el suelo removiéndolo de un lado a otro por medio de una motoniveladora o compactar y escarificar el suelo en varias pasadas, hasta llevarlo a una condición de  $\pm 2\%$  de la humedad óptima de compactación.



Imagen 2. Humectación de subrasante, vía Pindal-Paletillas  
Fuente: El Autor  
Elaboración: Lenin Sarmiento A.

### **3.6.1.3. Compactación de la subrasante.**

Es la operación mecánica controlada, para comprimir los suelos y la reducción de espacios vacíos, una vez obtenida la humedad adecuada con la ayuda de la motoniveladora se logra la altura requerida de la capa de subrasante; con un rodillo compactador pata de cabra, y/o rodillo vibratorio (imagen 8), dependiendo del tipo de material, se compacta el suelo hasta lograr la densidad para cumplir con el proctor. Durante la compactación, la fiscalización deberá realizar la verificación de la calidad del material con análisis de laboratorio, así como el control de los niveles a través de la topografía. La superficie terminada del tramo de subrasante no deberá mostrar a simple vista deformaciones o altibajos, en caso de presentarse deberán ser corregidos de manera que puedan ser recibidos con la terminación exigida.

En los sectores donde no se alcance la densidad mínima requerida, el material deberá ser escarificado, removido, emparejado, humedecido u oreado, para luego ser compactado de nuevo hasta alcanzar lo terminación especificada.



Imagen 3. Compactación para conformación de acabado de obra básica, vía Pindal-Paletillas

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

#### **3.6.1.4. Recepción de la capa de subrasante.**

Los parámetros a tomar en cuenta para la recepción del tramo de subrasante terminada, se hará conforme a lo dispuesto a las especificaciones técnicas de construcción de carreteras o de acuerdo a lo establecido en el proyecto, que determinarán:

- a. El grado de compactación de la capa subrasante.
- b. El espesor de la capa subrasante compactada.
- c. La calidad del material que cumpla con las especificaciones técnicas, analizadas en laboratorio.
- d. Verificación de niveles de la superficie de subrasante.



Imagen 4. Control de calidad de acabado de obra básica, toma de densidades, vía Pindal-Paletillas personal de fiscalización.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

### **3.6.2. Capa de sub-base.**

Es la capa de la estructura del pavimento está destinada primordialmente a soportar, transmitir y distribuir con igualdad las cargas aplicadas en la superficie de rodadura del pavimento, y son transferidas a la cimentación (subrasante). Para esta capa se requieren agregados procedentes de bancos de materiales que cumplan las especificaciones técnicas para una sub-base, que serán ubicados sobre la superficie de la subrasante.

#### **3.6.2.1. Escarificación del material de protección de la subrasante.**

Se procederá a escarificar el material de protección colocado sobre la superficie de la subrasante, para ser mezclado y homogenizado con el nuevo material que se colocará para conformar la capa de sub-base. La operación de escarificar se efectuará con motoniveladora o con cualquier otro equipo aprobado por la supervisión o el ingeniero residente. El escarificador deberá ser un modelo de dientes fijos, completos, de espesor y de largo suficiente para efectuar una escarificación total y uniforme.

#### **3.6.2.2. Colocación del material de sub-base.**

El material granular para sub-base, se colocará sobre la superficie de la subrasante evitando su segregación, comenzando en el sitio que indique el Ingeniero Residente. En ningún caso se deberá colocar capas de material para sub-base mayores de 20 cm, ni menores a 10 cm,

si se requiere colocar un espesor mayor, el Ingeniero residente ordenará al contratista la colocación del espesor total en varias capas.



Imagen 5. Tendido de material de subbase clase III, vía Pindal-Paletillas  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

### 3.6.2.3. Distribución del material de sub-base.

El material de sub-base en estado suelto, será esparcido con un contenido de humedad de  $\pm 2\%$  con respecto a la humedad óptima, en un espesor preciso para que después de ser compactado, tenga el espesor de diseño. El esparcimiento se deberá hacer con el equipo adecuado, ya sea con una finisher o una motoniveladora para producir una capa de espesor uniforme en todo el ancho requerido, conforme a las secciones transversales mostradas en los planos. El Contratista debe ubicar tacos de nivel en los extremos de la calzada para el control de espesores durante la colocación, esparcimiento y compactación del material de sub-base.



Imagen 6. Tendido de material de subbase clase III, vía Pindal-Paletillas  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### **3.6.2.4. Compactación de la capa de sub-base.**

Para realizar la compactación de la capa sub-base, se utilizará compactadores mecánicos; rodillos lisos, rodillos con ruedas neumáticas o con otro equipo aprobado para compactación, que produzca los resultados exigidos por las especificaciones técnicas de construcción.

La compactación deberá avanzar progresivamente, en las tangentes, desde los bordes hacia el centro y en las curvas desde el borde interior al exterior, paralelamente al eje de la carretera y traslapando uniformemente la mitad del ancho de la pasada anterior. El procedimiento se continuará alternadamente hasta lograr una densidad que cumpla con la del proctor, según la especificación, en todo el espesor de la capa.



Imagen 7. Compactación de material de subbase clase III, vía Pindal-Paletillas  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### **3.6.2.5. Recepción de la capa de sub-base.**

Los parámetros que se verificarán para la recepción del tramo de sub-base terminado, serán aquellos establecidos por las especificaciones técnicas de construcción de carreteras o de acuerdo a lo establecido en el proyecto:

- a. El grado de compactación de la capa sub-base.
- b. El espesor de la capa sub-base compactada.

- c. La calidad del material que cumpla con las especificaciones técnicas, realizadas por el laboratorio.
- d. Verificación de niveles de la superficie de sub-base.



Imagen 8. Control de calidad de la subbase clase III, vía Pindal-Paletillas, personal de fiscalización.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

#### **3.6.2.6. Protección de la capa liberada de sub-base.**

Una vez se haya terminado la conformación de la capa de sub-base y su recepción haya sido aprobada satisfactoriamente, se prepara la superficie de esta para la colocación de una capa protectora, la cual consta de 10.0 cm. de espesor compuesto por material selecto para base, que al concluir su tendido tiene que compactarse debidamente. El objetivo de este proceso es el de proteger la capa de sub-base de una posible lluvia o la circulación inesperada de algunos vehículos que puedan causar daño a dicha capa.

#### **3.6.3. Capa de Base.**

Es la capa del pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito en la capa de rodadura a la sub-base. El material a emplearse deberá estar constituido, por una combinación de grava de buena calidad, arena, y suelo en su estado natural, todos ellos previamente clasificados para ser colocados sobre la superficie de la sub-base.

Para el proceso de conformación de la capa de base, se realiza el suministro de agregados granulares, que se colocaran de conformidad con los alineamientos verticales, pendientes y dimensiones indicadas en los planos del proyecto o establecidos por el Ingeniero supervisor.



Imagen 9. Trituración de material para base, sector saucillo, vía Pindal-Paletillas  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### **3.6.3.1. Escarificación del material de protección de la sub-base.**

Se escarifica el material de protección colocado sobre la superficie de la sub-base, para ser mezclado y homogenizado con el nuevo material que se colocará para conformar la capa de base. La operación de escarificar se efectuará con motoniveladora o con cualquier otro equipo aprobado por la supervisión o el ingeniero residente. El escarificador deberá ser un modelo de dientes fijos, completos, de espesor y de largo suficiente para efectuar una escarificación total y uniforme.

#### **3.6.3.2. Colocación del material de base.**

El material granular de base, se colocará sobre la superficie de la sub-base evitando su segregación, iniciando en el sitio que indique el Ingeniero residente. En ningún caso se deberá colocar capas de material para base mayores de 20 cm, ni menores a 10 cm. Si se quiere colocar un espesor mayor de 20 cm, el Ingeniero residente deberá ordenar al contratista la colocación del espesor total en varias capas.

### **3.6.3.3. Distribución del material de base.**

El material de base en estado suelto, será esparcido con un contenido de humedad de  $\pm 2\%$  con respecto a la humedad óptima, en un espesor necesario para que después de ser compactado, tenga el espesor de diseño. El esparcimiento se deberá hacer con el equipo adecuado, ya sea con una finisher o una motoniveladora para producir una capa de espesor uniforme en todo el ancho requerido, conforme a las secciones transversales mostradas en los planos. Es responsabilidad del contratista la ubicación de tacos para nivelar los extremos de la calzada y controlar los espesores durante la colocación, esparcimiento y compactación del material de base.

### **3.6.3.4. Compactación de la capa de base.**

El procedimiento de compactación de la capa base, se realiza por medio de compactadores mecánicas como: rodillos lisos, rodillos con ruedas neumáticas o con otro equipo aprobado para compactación que produzca los resultados exigidos.

La compactación deberá avanzar gradualmente, en las tangentes, desde los bordes hacia el centro y en las curvas desde el borde interior al exterior, paralelamente al eje de la carretera y traslapando uniformemente la mitad del ancho de la pasada anterior. El procedimiento se realiza alternadamente hasta lograr una densidad que cumpla con la del proctor T-180 o T - 99, según la especificación, en todo el espesor de la capa.

### **3.6.3.5. Recepción de la capa de base.**

Los parámetros que se requerirán para la recepción del tramo de base terminada, se hará conforme a los requisitos establecidos por las especificaciones técnicas de construcción de carreteras o de acuerdo a lo establecido en el proyecto, que serán:

- a. El grado de compactación de la capa base.
- b. El espesor de la capa base compactada.
- c. La calidad del material que cumpla con las especificaciones técnicas, realizadas por el laboratorio.
- d. Verificación de niveles de la superficie de base.

#### **3.6.4. Capa de base estabilizada con emulsión asfáltica.**

Las cargas generadas por el tráfico vehicular producen una presión a las diferentes capas del pavimento, cada una de estas capas ayudan a absorber las cargas que se transmiten a la subrasante. Esto se aplica también a las capas de material estabilizado con cemento, cal o emulsión asfáltica; en una estructura de un pavimento no sería adecuado estabilizar una subrasante y dejar sin estabilizar la sub-base o la base, por el principio que la capa que se debe agregar este agente estabilizante es la que está más próxima a la capa de rodadura del pavimento, ya que ahí es donde se generan los máximos esfuerzos causados por el tráfico vehicular, de lo expuesto se puede establecer que existen las siguientes clases de combinaciones: Agregar un agente estabilizante a la base, dejando en condición granular la sub-base y la subrasante. Incorporar un agente estabilizante a la base y la sub-base, dejando en condición granular la subrasante. Adicionar un agente estabilizante a la base, la sub-base y la subrasante.

Para la presente investigación adoptaremos la primera, puesto que tenemos carreteras rurales de bajo tráfico, clase IV, en la cual no es necesario mejorar la subrasante por la baja carga vehicular.

##### **3.6.4.1. Colocación del material de base para estabilizar con emulsión asfáltica.**

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, se deberá entregar para la verificación, muestras de los materiales que se propone utilizar, avaladas por los resultados de ensayos que demuestren la conveniencia de utilizarlos. Una vez verificados los resultados de ensayo de los materiales, se procederá a definir el contenido óptimo de agua de pre envuelta y a diseñar la mezcla.

El material granular de base, se colocará sobre la superficie de la subbase evitando su segregación, iniciando en el sitio que indique el Ingeniero residente, en ningún caso se deberá colocar capas de material para base mayores de 20 cm, ni menores a 10 cm. Si en el diseño se tiene que colocar un espesor mayor de 20 cm, se deberá colocar el espesor total en varias capas.



Imagen 10. (a, b): Tendido de material de base estabilizada con emulsión asfáltica, vía Pindal-Paletillas  
 Fuente: El Autor  
 Elaboración: El Autor

#### 3.6.4.2. Distribución del material de base.

El material de base en estado suelto, será esparcido con un contenido de humedad de  $\pm 2\%$  con respecto a la humedad óptima obtenida en laboratorio esto debido a que por las altas temperaturas se pierde muy rápido la humectación de mezclado.

Se realizará un primer esparcimiento del material de base a ser estabilizado con la ayuda de la motoniveladora, para obtener una capa de espesor uniforme en todo el ancho requerido, en el caso de inyectar la emulsión con una recicladora, esta capa será compactada con la ayuda de un rodillo liso hasta lograr el espesor de los planos. Es necesario hacer el control adecuado de los espesores ya que al inyectar la emulsión al material de base y tener un espesor mayor la cantidad de asfalto que va absorber el agregado no sería el que establece el diseño, de manera que es indispensable realizar un tramo de prueba donde se va a calibrar los equipos.

La emulsión se colocará con el equipo adecuado, esto puede ser con la ayuda de una recicladora o como se hacía antiguamente con la motoniveladora (figura 11), en caso de hacerse con una motoniveladora se recomienda hacerlo en proyectos viales pequeños; se debe tener un operador de gran experiencia para garantizar una adecuada homogeneidad de material de base estabilizada con emulsión.

En el caso de hacerse con recicladora, el procedimiento a seguir para la inyección de la emulsión, es el siguiente:



a



b

Imagen 11. a, b, Mezclado de material de base estabilizada con emulsión asfáltica, vía Pindal-Paletillas

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

- Se tiende el material una primera vez con la ayuda de la motoniveladora procurando un espesor superior al de diseño.
- Se compacta con un rodillo liso el material hasta lograr el espesor deseado.
- Se inyecta la emulsión con la ayuda de la recicladora, se debe calibrar con anterioridad con la finalidad de inyectar la cantidad de asfalto necesario.
- Se nivela y se deja el bombeo adecuado con la ayuda de la motoniveladora
- El material debe ser compactado, hasta lograr el espesor deseado con la ayuda de un rodillo liso.



Imagen 12. Recicladora para inyectar emulsión asfáltica, vía Pindal-Paletillas

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

### 3.6.4.3. Compactación de la capa de base con emulsión asfáltica.

Para realizar la compactación de la capa base, se utiliza compactadores mecánicos como: rodillos lisos, rodillos con ruedas neumáticas o con otro equipo aprobado, de manera que este procedimiento produzca los resultados exigidos.



Imagen 13. Compactación de material de base con emulsión asfáltica, vía Pindal-Paletillas  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

La compactación avanzará gradualmente, en las tangentes, desde los bordes hacia el centro y en las curvas desde el borde interior al exterior, paralelamente al eje de la carretera y traslapando uniformemente la mitad del ancho de la pasada anterior. El procedimiento se continuará alternadamente hasta lograr una densidad que cumpla con la especificación, en todo el espesor de la capa.



Imagen 14. Compactación de material de base con emulsión asfáltica, vía Pindal-Paletillas  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### 3.6.4.4. Recepción de la capa de base con emulsión asfáltica.

Antes de la colocación de la base se realizará al material granular la comprobación de su clasificación y caras fracturadas; previo a recibir un tramo de base estabilizada, es necesario sacar briquetas in situ, que serán ensayadas para obtener los siguientes parámetros:

- a. Ensayo de asfalto residual o evaporación
- b. Control de temperatura
- c. Humedad
- d. Extracción de asfalto
- e. Granulometría de la extracción
- f. Ensayo Marshall – estabilidad y flujo
- g. Densidades
- h. Topografía – espesor, alturas y pendientes



(a)



(c)



(d)



Imagen 15. Control de calidad de material de base, a. control de espesor, b. elaboración de briquetas in situ, c. ensayo asfalto residual, d. ensayo Marshall, vía Pindal-Paletillas

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

### 3.6.5. Micropavimento.

El equipo utilizado para la colocación del micropavimento es un micropavimentador, cuyos componentes esenciales son: sistema de alimentación de agregados, sistema de alimentación de emulsiones, sistema de suministro de agua, sistema de alimentación de filler, aditivos, sistema de mezclado, caja de pavimentación y sistema de control; en la figura 16 podemos observar el equipo descrito.



Imagen 16. Micropavimentador, via Playas - Yamana  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

Su aplicación es sencilla, se coloca sobre bases estabilizada con emulsión asfáltica una vez terminado su proceso químico, o sobre una capa de rodadura existente luego de realizar el bacheo adecuado, con la ayuda del micropavimentador se extiende la mezcla sobre la superficie preparada, cuando los componentes del micro-pavimento se mezclan da inicio al proceso de ruptura, el tiempo que dura este proceso depende de la química de los agregados y finos, formulación de la emulsión, tipo y concentración de aditivos, así como también la temperatura ambiental. La mezcla de los componentes del micro-pavimento, permanece fluido durante 120 a 300 segundos que es el tiempo mínimo de mezclado, en este periodo deberá ser distribuido sobre la superficie preparada. El mortero asfáltico continúa con su proceso de ruptura una vez colocado en la vía, proceso químico que culmina cuando la coloración de la mezcla cambia de café oscuro a negro.

La apertura al tráfico se realizará de acuerdo al tipo de emulsión que se utilizó, es así que para una CSS la apertura será en un tiempo aproximado de 2 a 4 horas, mientras que para tipo CQS será un en un tiempo aproximado de 60 minutos o menos esto depende de la

temperatura ambiente. El proceso de curado cuando la totalidad del agua en la mezcla es liberada, ocurre en las 48 horas después de su aplicación.



(a)

(b)

Imagen 17. a y b, Colocación Micro-pavimento, vía Playas - Yamana

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

**CAPÍTULO IV**  
**DISEÑO Y COSTOS**

## 4. Diseño y Costos.

### 4.1. Trabajos de campo para obtener los parámetros de diseño.

Con la finalidad de igual criterios en los diseños de las diferentes capas de rodadura, utilizaremos las mismas características físico-mecánicas de los materiales, se realizará en obra la comprobación de los parámetros que constan en el estudio con la ayuda del laboratorio que la fiscalización contratada tiene en el lugar, estas comprobaciones se realizan siempre antes de iniciar la ejecución de cualquier trabajo.

#### 4.1.1. Tráfico:

Los habitantes de los sectores aledaños a la vía coinciden, que los meses de julio y agosto son los meses de mayor afluencia de vehículos puesto que son los meses de cosecha y venta de maíz.

En la investigación se realizó la comprobación del tráfico mediante aforos cortos, es decir se hizo el conteo en el periodo donde se conoce que hay mayor flujo de vehículos, en horario de 07 AM –12 PM, según se puede determinar en las gráficas del conteo vehicular ejecutado a siete días, que a continuación se detalla:



Gráfico 2. a, b, Tráfico semanal de tramo I, tramo II, Via Pindal  
Fuente: Estudio Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Lenin Sarmiento

El conteo vehicular fue por medio de aforos cortos, los días martes, jueves, y domingo, obteniendo datos similares a los proyectados en el estudio que la Institución Provincial público. Dado que la serie de datos obtenida en el estudio fue para siete días y las

proyecciones de tráfico a diez años no superan los 300 vehículos, los diseños para la presente investigación se analizarán con el tráfico obtenido en el estudio.

Del análisis realizado del parque automotor al tramo Pindal – Y del Guando, se establece la siguiente composición representada en el gráfico 3.



Gráfico 3. Composición Vehicular  
Fuente: Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Lenin Sarmiento A.

Del análisis realizado del parque automotor al tramo Y del Guando - Paletillas, se establece la siguiente composición representada en el gráfico 4.



Gráfico 4. Composición Vehicular  
Fuente: Gobierno Provincial de Loja  
Elaborado por: Lenin Sarmiento A.

En la tabla 12 se resume el tráfico promedio diario anual (TPDA) proyectado del primer tramo Pindal – Y del Guando, para un periodo de diseño de 10 años 229 vehículos, así mismo en la tabla 13 se resume el TPDA proyectado para el segundo tramo Y del Guando - Paletillas, para un periodo de diseño de 10 años 130 vehículos; el TPDA es mayor a 100 pero menor de 300.

Conforme la clasificación de carreteras en las normas de diseño geométrico de carreteras del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), basado en el volumen de tráfico la vía en estudio corresponde a una carretera clase IV (tabla 26), con una topografía montañosa, su función es vecinal.

Tabla 26. Clasificación de carreteras MTO

Relación función, clase MTO y tráfico		
Función	Clase Carretera Según MTO	TPDA (año final de diseño)
CORREDOR	RI - RII	> 8000
ARTERIAL	I	3000 - 8000
COLECTORA	II	1000 - 3000
	III	300 - 1000
VECINAL	IV	100 - 300
	V	< 100

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO 2002)  
Elaborado por: Ministerio de Transporte y Obras Públicas

#### 4.1.2. Cálculo del número de ejes equivalentes:

El tráfico se proyectará para un periodo de 10 años, utilizando la tasa de crecimiento geométrico de una población determinada, para el cálculo de los ejes equivalentes se utilizó la fórmula AASHTO:

$$\sum_0^n ESAL = \frac{365ESAL_0}{r} [(1+r)^n - 1] \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

ESAL<sub>0</sub> = equivalent single axle load

r = tasa de crecimiento

n = periodo

Tabla 27. Cálculo de número de ejes equivalentes. Tramo 1

Tipo de vehículo	Tasa crec.	TPDA	Periodo		N° años	ESAL	FE <sub>q</sub>	Diseño 10 años W <sub>18</sub>
			Inicial	Final				
Buses (2DB)	1,78	9	2016	2020	4	6748	3,8582	26000
	1,78	9	2020	2024	4	6748	3,8582	26000
	1,62	9	2024	2026	2	3312	3,8582	12800
2 ejes (3A) Camión	1,74	48	2016	2020	4	35965	3,5259	126800
	1,74	51	2020	2024	4	38213	3,5259	134700
	1,58	53	2024	2026	2	19498	3,5259	68700
3 ejes (4C) Camión	1,74	6	2016	2020	4	4496	1,7897	8000
	1,74	7	2020	2024	4	5245	1,7897	9400
	1,58	7	2024	2026	2	2575	1,7897	4600
<b>Total de ejes equivalentes W18</b>								<b>417000</b>

Fuente: El Autor  
Elaborado por: Lenin Sarmiento

Tabla 28. Cálculo de número de ejes equivalentes. Tramo 2

Tipo de vehículo	Tasa crec.	TPDA	Periodo		N° años	ESAL	FE <sub>q</sub>	Diseño 10 años W <sub>18</sub>
			Inicial	Final				
Buses (2DB)	1,78	8	2016	2020	4	5998	3,9489	23300
	1,78	8	2020	2024	4	5983	3,9489	23200
	1,62	8	2024	2026	2	2944	3,9489	11400
2 ejes (3A) Camión	1,74	35	2016	2020	4	26225	3,5813	92900
	1,74	37	2020	2024	4	27657	3,5813	97900
	1,58	39	2024	2026	2	14347	3,5813	50800
3 ejes (4C) Camión	1,74	6	2016	2020	4	4496	1,7812	8000
	1,74	7	2020	2024	4	5232	1,7812	9400
	1,58	7	2024	2026	2	2575	1,7812	4600
<b>Total de ejes equivalentes W18</b>								<b>321500</b>

Fuente: El Autor  
Elaborado por: Lenin Sarmiento

#### 4.1.3. Análisis de la subrasante:

Para una adecuada ejecución de los trabajos y con la finalidad de verificar el diseño de la estructura del pavimento, Fiscalización, y la Empresa Constructora, realizaron una exploración geotécnica a nivel de subrasante y calzada actual; se hizo calicatas cada 500 m para visualizar la estructura actual del suelo y mediante la utilización del GeoGauge (instrumento electrónico), obtener el módulo resiliente de la subrasante, bajo la Norma ASTM D6758.

Con las muestras obtenidas en el campo se realizaron los siguientes ensayos:

Tabla 29. Ensayos a subrasante

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Contenido de humedad natural	ASTM D-2216
Análisis granulométrico	ASTM D-422
Limite Líquido	ASTM D-4318
Limite Plástico	ASTM D-4318
Índice de plasticidad	ASTM D-4318
Clasificación SUCS y AASHTO	

Fuente: El Autor

Elaborado por: Lenin Sarmiento

La exploración geotécnica de la subrasante aportará en el diseño de los espesores, así como las características físicas y mecánicas de los materiales que forman parte de la estructura de pavimento. Los datos obtenidos en campo y laboratorio se detallan en la tabla 30. La toma de datos con el GeoGauge, así como los resultados de los ensayos de laboratorio se encuentran en el Anexo, trabajos de campo.

Antes de la intervención del Gobierno Provincial de Loja, en la vía existían tramos con una capa de lastre (tabla 30), con tamaños de agregados mayores o iguales a 20,00 cm; este material por el paso del tráfico se encuentra fatigado y contaminado con material arcilloso limoso que se desprende de los taludes en poca de invierno o por bacheo con material del sitio en época de verano.

Las calicatas se las ha ubicado a cada 500 metros según el perfil vertical diseñado, el ancho de la vía antes de la intervención variaba entre los 4,00 y 5,00 m, mientras que el ancho proyectado de acuerdo a los estudios es de 7,20 m incluido cunetas a ambos lados.

En las calicatas realizadas a lo largo de toda la vía en construcción, verificamos que la subrasante es muy variable; los estratos dominantes son del tipo arcilloso - arenoso (CL-SC), se hallaron además otros de tipo gravosos – limosos (GC- ML), como se puede observar en tabla 30; estos estratos tienen como característica principal su baja compresibilidad, mediana expansión, y drenaje deficiente.

Tabla 30. Datos obtenidos en campo y laboratorio

Calicata Nº	Abscisa	Coordenadas		Espesor de mejoramiento existente	Ubicación	Profundidad	Pasante de tamiz Nº 200	Contenido de humedad	Límite líquido	Límite plástico	I.P.	Clasificación SUCS.	Clasificación AASHTO	Coloración	Módulo Resiliente (PSI)	% CBR
		Este	Norte													
1	0+000	598430,965	9544927,646	0,25 cm	DERECHO	50,00 cm	88,0 %	14,86 %	33,75 %	19,54 %	14,21 %	CL	A-6	café	<b>6950</b>	<b>4,6 %</b>
2	0+500	598059,009	9545199,278	0,10 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	72,1 %	4,56 %	27,80 %	18,58 %	9,22 %	CL	A-4	café	<b>6050</b>	<b>4,0 %</b>
3	1+000	597721,631	9545468,659	0,35 cm	DERECHO	50,00 cm	66,7 %	6,83 %	28,60 %	16,28 %	12,32 %	CL	A-6	café	<b>11110</b>	<b>7,4 %</b>
4	1+500	597243,112	9545386,597	0,15 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	82,2 %	12,43 %	31,50 %	18,72 %	12,78 %	CL	A-6	café	<b>7780</b>	<b>5,2 %</b>
5	2+000	596842,788	9545226,887	0,20 cm	DERECHO	50,00 cm	66,5 %	7,78 %	26,10 %	13,35 %	12,75 %	CL	A-6	café	<b>5530</b>	<b>3,7 %</b>
6	2+500	596372,107	9545121,394	0,25 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	36,3 %	7,12 %	24,25 %	13,61 %	10,64 %	GC	A-4	café	<b>10040</b>	<b>6,7 %</b>
7	3+000	596301,330	9545407,128	0,15 cm	DERECHO	50,00 cm	84,5 %	11,52 %	32,35 %	14,23 %	18,12 %	CL	A-6	café	<b>7060</b>	<b>4,7 %</b>
8	3+500	596510,625	9545751,098	0,15 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	86,5 %	12,05 %	34,00 %	11,66 %	22,34 %	CL	A-6	café	<b>6960</b>	<b>4,6 %</b>
9	4+000	596694,596	9546021,450	0,20 cm	DERECHO	50,00 cm	94,7 %	15,62 %	57,00 %	17,52 %	39,48 %	CH	A-7-6	café	<b>8980</b>	<b>6,0 %</b>
10	4+500	596210,750	9545941,539	0,25 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	42,6 %	8,18 %	26,25 %	15,66 %	10,59 %	GC	A-4	café	<b>9670</b>	<b>6,4 %</b>
11	5+000	595860,909	9545676,368	0,15 cm	DERECHO	50,00 cm	52,9 %	7,18 %	32,40 %	18,37 %	14,03 %	CL	A-6	café	<b>11300</b>	<b>7,5 %</b>
12	5+500	595623,985	9545293,833	0,10 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	71,3 %	9,93 %	37,45 %	19,80 %	17,65 %	CL	A-6	café	<b>8000</b>	<b>5,3 %</b>
13	6+000	595546,842	9545614,583	0,10 cm	DERECHO	50,00 cm	85,7 %	10,27 %	35,25 %	15,60 %	19,65 %	CL	A-6	café	<b>7580</b>	<b>5,1 %</b>
14	6+500	595164,301	9545346,092	0,10 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	54,1 %	7,32 %	30,50 %	15,21 %	15,29 %	CL	A-6	café	<b>9340</b>	<b>6,2 %</b>
15	7+000	595071,414	9545569,230	0,10 cm	DERECHO	50,00 cm	83,4 %	12,29 %	35,60 %	14,56 %	21,04 %	CL	A-6	café	<b>10650</b>	<b>7,1 %</b>
16	7+500	595213,593	9545917,761	0,10 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	91,6 %	17,37 %	33,80 %	12,34 %	21,46 %	CL	A-6	café	<b>7680</b>	<b>5,1 %</b>
17	8+000	594952,191	9545984,517	0,10 cm	DERECHO	50,00 cm	13,3 %	8,21 %	29,35 %	14,49 %	14,86 %	GC	A-2-6	café	<b>16860</b>	<b>11,2 %</b>
18	8+500	594637,169	9545684,567	0,10 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	73,4 %	11,47 %	29,75 %	14,60 %	15,15 %	CL	A-6	café	<b>8280</b>	<b>5,5 %</b>
19	9+000	594259,947	9545886,831	0,20 cm	DERECHO	50,00 cm	95,7 %	17,46 %	38,25 %	16,42 %	21,83 %	CL	A-6	café	<b>15290</b>	<b>10,2 %</b>
20	9+500	594055,274	9545924,780	0,20 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	72,9 %	14,36 %	37,75 %	14,67 %	23,08 %	CL	A-6	café	<b>10570</b>	<b>7,0 %</b>
21	10+000	593619,584	9546062,324	0,20 cm	DERECHO	50,00 cm	94,1 %	21,01 %	60,00 %	22,47 %	37,53 %	CH	A-7-6	café	<b>16880</b>	<b>11,3 %</b>
22	10+500	593170,700	9546135,680	0,10 cm	IZQUIERDO	60,00 cm	45,1 %	17,25 %	29,40 %	15,53 %	13,87 %	SC	A-6	café	<b>13520</b>	<b>9,0 %</b>
23	11+000	592754,955	9546251,991	0,10 cm	DERECHO	50,00 cm	58,7 %	16,43 %	33,00 %	16,57 %	16,43 %	CL	A-6	café	<b>10500</b>	<b>7,0 %</b>
24	11+500	592333,725	9546072,149	0,25 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	98,0 %	13,75 %	39,40 %	16,63 %	22,77 %	CL	A-6	café	<b>6010</b>	<b>4,0 %</b>
25	12+000	592050,367	9545766,103	0,10 cm	DERECHO	50,00 cm	93,2 %	19,99 %	43,80 %	16,39 %	27,41 %	CL	A-7-6	café	<b>17360</b>	<b>11,6 %</b>
26	12+500	591662,890	9545482,379	0,20 cm	IZQUIERDO	60,00 cm	96,3 %	20,44 %	44,50 %	19,54 %	24,96 %	CL	A-7-6	café	<b>9490</b>	<b>6,3 %</b>
27	13+000	591607,426	9545204,036	0,10 cm	DERECHO	70,00 cm	96,2 %	19,39 %	53,40 %	23,08 %	30,32 %	CH	A-7-6	café	<b>10620</b>	<b>7,1 %</b>
28	13+500	591469,338	9544806,760	0,10 cm	IZQUIERDO	60,00 cm	95,3 %	13,36 %	38,25 %	18,77 %	19,48 %	CL	A-6	café	<b>11200</b>	<b>7,5 %</b>
29	14+000	591104,224	9544729,477	0,10 cm	DERECHO	75,00 cm	63,9 %	15,47 %	34,00 %	21,78 %	12,22 %	CL	A-6	café	<b>19420</b>	<b>12,9 %</b>
30	14+500	590666,167	9544603,227	0,10 cm	IZQUIERDO	70,00 cm	87,7 %	16,93 %	31,00 %	13,66 %	17,34 %	CL	A-6	café	<b>19850</b>	<b>13,2 %</b>

Calicata Nº	Abscisa	Coordenadas		Espesor de mejoramiento existente	Ubicación	Profundidad	Pasante de tamiz Nº 200	Contenido de humedad	Límite líquido	Límite plástico	I.P.	Clasificación SUCS.	Clasificación AASHTO	Coloración	Módulo Resiliente (PSI)	% CBR
		Este	Norte													
31	15+000	590405,634	9544263,000	0,10 cm	DERECHO	90,00 cm	80,8 %	12,64 %	31,00 %	13,53 %	17,47 %	CL	A-6	café	9560	6,4 %
32	15+500	590321,590	9543857,032	0,30 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	0,9 %	5,27 %	0,00 %	0,00 %	NP	GP	A-1-a	gris	27110	18,1 %
33	16+000	589938,721	9543614,502	0,15 cm	DERECHO	85,00 cm	90,9 %	14,38 %	32,00 %	14,52 %	17,48 %	CL	A-6	café	15050	10,0 %
34	16+500	589479,076	9543627,719	0,10 cm	IZQUIERDO	90,00 cm	65,1 %	8,24 %	30,65 %	18,50 %	12,15 %	CL	A-6	café	10190	6,8 %
35	17+000	589055,951	9543556,100	0,15 cm	DERECHO	70,00 cm	32,7 %	16,20 %	32,20 %	21,50 %	10,70 %	GC	A-2-4	café	7930	5,3 %
36	17+500	588658,123	9543404,418	0,10 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	92,8 %	9,44 %	31,60 %	14,14 %	17,46 %	CL	A-6	café	15390	10,3 %
37	18+000	588304,921	9543076,317	0,10 cm	DERECHO	50,00 cm	40,4 %	10,24 %	31,00 %	17,53 %	13,47 %	GC	A-6	café	18420	12,3 %
38	18+500	588016,450	9542635,132	0,15 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	84,4 %	16,75 %	24,75 %	17,57 %	7,18 %	CL - ML	A-4	café	10890	7,3 %
39	19+000	587573,162	9542456,757	0,20 cm	DERECHO	90,00 cm	16,8 %	12,87 %	32,60 %	14,73 %	17,87 %	GC	A-2-6	café	19840	13,2 %
40	19+500	587342,076	9542050,089	0,20 cm	IZQUIERDO	65,00 cm	84,5 %	12,59 %	35,50 %	19,63 %	15,87 %	CL	A-6	café	15150	10,1 %
41	20+000	587106,944	9541651,640	0,15 cm	DERECHO	60,00 cm	81,3 %	8,91 %	27,90 %	16,66 %	11,24 %	CL	A-6	café	18970	12,6 %
42	20+500	586887,237	9541212,839	0,20 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	85,1 %	17,78 %	42,20 %	16,48 %	25,72 %	CL	A-7-6	café	21230	14,2 %
43	21+000	586564,470	9540852,283	0,15 cm	DERECHO	50,00 cm	76,4 %	11,74 %	30,90 %	14,85 %	16,05 %	CL	A-6	café	15440	10,3 %
44	21+500	586561,256	9540436,020	0,20 cm	IZQUIERDO	60,00 cm	85,0 %	19,70 %	28,75 %	12,40 %	16,35 %	CL	A-6	café	13920	9,3 %
45	22+000	586385,851	9540018,007	0,10 cm	DERECHO	50,00 cm	69,3 %	7,47 %	26,00 %	10,54 %	15,46 %	CL	A-6	café	17960	12,0 %
46	22+500	585977,376	9539778,896	0,15 cm	IZQUIERDO	70,00 cm	21,6 %	10,37 %	27,20 %	14,46 %	12,74 %	SC	A-2-6	gris	21710	14,5 %
47	23+000	585549,714	9539585,045	0,20 cm	DERECHO	50,00 cm	86,9 %	9,72 %	35,90 %	12,53 %	23,37 %	CL	A-6	café	11750	7,8 %
48	23+500	585064,719	9539537,716	0,15 cm	CENTRO	50,00 cm	87,1 %	21,94 %	32,25 %	13,64 %	18,61 %	CL	A-6	café	6900	4,6 %
49	24+000	584655,860	9539279,121	0,35 cm	DERECHO	50,00 cm	69,9 %	3,86 %	24,70 %	12,37 %	12,33 %	CL	A-6	café	11730	7,8 %
50	24+500	584344,147	9538907,917	0,25 cm	CENTRO	50,00 cm	74,0 %	13,61 %	24,75 %	14,40 %	10,35 %	CL	A-6	café	15650	10,4 %
51	25+000	583985,592	9538586,432	0,45 cm	IZQUIERDO	50,00 cm	89,4 %	9,51 %	34,90 %	17,20 %	17,70 %	CL	A-6	café	15650	10,4 %
52	25+500	583498,169	9538526,244	0,10 cm	CENTRO	30,00 cm	78,0 %	2,84 %	30,00 %	15,53 %	14,47 %	CL	A-6	café	8580	5,7 %
53	26+000	583040,753	9538351,642	0,15 cm	DERECHO	70,00 cm	79,1 %	11,34 %	27,25 %	16,48 %	10,77 %	CL	A-6	café	14840	9,9 %
54	26+500	582569,438	9538287,739	0,15 cm	CENTRO	50,00 cm	65,0 %	2,18 %	24,10 %	18,44 %	5,66 %	CL - ML	A-4	café	8300	5,5 %
55	27+000	582120,420	9538289,095	0,15 cm	CENTRO	100,00 cm	83,5 %	4,50 %	33,40 %	14,73 %	18,67 %	CL	A-6	café	20590	13,7 %
56	27+800	581345,805	9539215,552	0,15 cm	IZQUIERDO	80,00 cm	89,1 %	5,71 %	27,00 %	14,48 %	12,52 %	CL	A-6	café	15100	10,1 %
57	29+210	580999,093	9539414,182	0,20 cm	CENTRO	65,00 cm	75,0 %	3,16 %	38,50 %	18,34 %	20,16 %	CL	A-6	café	20510	13,7 %

Fuente: El Autor  
Elaborado por: Lenin Sarmiento

Las exploraciones de las calicatas, contrastaron que la subrasante tiene una capa de lastre con espesores que oscilan entre 15,00 y 20,00 cm aproximadamente (tabla 30), material que no cumple ni como para mejoramiento de acuerdo a la normativa del MTOP.

#### **4.2. Diseño del pavimento y secciones típicas del mismo.**

El principal objetivo de rediseñar la estructura del pavimento es uniformizar los parámetros utilizados para el diseño con diferentes capas de rodadura, por lo que se utilizará las canteras y minas calificadas en la construcción, sobre todo por el factor transporte.

##### **4.2.1. Criterios de diseño.**

En el dimensionamiento de pavimentos flexibles se considera cuatro factores: (1) el tráfico en términos del número de aplicaciones esperadas y acumuladas del eje estándar de diseño; (2) la calidad de la subrasante; y (3) los materiales de construcción disponibles; (4) la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo que la estructura estará expuesta a niveles próximos a la saturación. (AASHTO, 2002).

Los diferentes diseños para determinar la estructura del pavimento serán por el método AASHTO 93, el cual pone énfasis en el estudio de la composición del tráfico, la caracterización de los materiales de construcción, el índice de servicio y el análisis de alternativas para seleccionar la más óptima en base a consideraciones técnicas y económicas.

El método AASHTO 93, se basa en el siguiente modelo matemático:

$$SN = a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3 + \dots + a_n m_n D_n \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

- SN: Número estructural del pavimento
- $a_i$ : Coeficiente estructural de capa  $i$  (pulgada,  $i=1, 2, 3$ )
- $D_i$ : Espesor de la capa  $i$  (pulgadas,  $i=1, 2, 3$ ).
- $m_i$ : Factor de drenaje de las capas granulares.

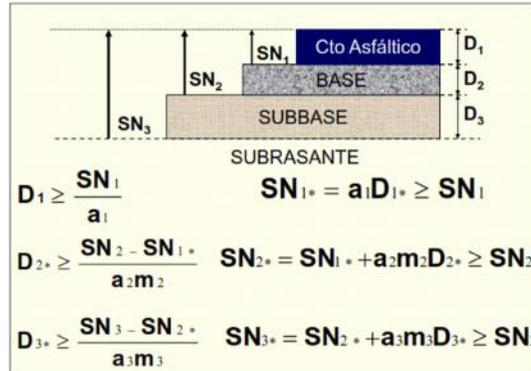


Figura 6. Determinación numero estructural  
Fuente: AASTHO 93  
Elaborado por: AASTHO 93

Por iteraciones se determina los espesores de las diferentes capas de la estructura del pavimento. La fórmula de diseño del AASTHO 93 es:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4,2-1,5}}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \log M_R - 8,07 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

- $W_{18}$  = número de aplicaciones de cargas de 80 KN
- $Z_R$  = desviación estándar normal
- $S_0$  = desviación estándar o error estándar
- $SN$  = número estructural
- $PSI$  = pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño
- $M_R$  = módulo resiliente de la sub-rasante

#### 4.2.2. Parámetros de diseño.

Siendo el tramo I (Pindal – Y del guando), por el que circulan el mayor número de ejes equivalentes, el diseño de la estructura del pavimento se realizara para este tramo con los siguientes parámetros de diseño:

- Confiabilidad:  $R = 95 \%$ ; se trata de una carretera colectora de transito del área rural.
- Desviación estándar:  $S_0 = 0.45$ ; por ser una construcción nueva
- Desviación normal estándar:  $Z_r = -1,645$ ; para una confiabilidad del  $95 \%$
- Serviciabilidad inicial:  $P_o = 4,2$ ; por ser una carretera clase IV
- Serviciabilidad final:  $P_f = 2.0$ ; por ser una carretera clase IV

- Periodo de diseño: 10 años, debido a que está directamente relacionado con los espesores de las capas del material que forman la estructura del pavimento siendo su principal justificativo de orden económico.
- Coeficiente de drenaje: se considera una calidad de drenaje buena y un porcentaje de exposición entre el 5 y el 25 %, los coeficientes de drenaje serán para la Base: 1; Sub-base: 0.90; mejoramiento: 0.80.

#### **4.2.3. Determinación del CBR de la subrasante**

Los módulos resilientes de la subrasante; se los obtuvo en situ, a través del laboratorio que fiscalización mantiene en obra, mediante el aparato electrónico GeoGauge.

A comienzos del 2002, la ASTM aprobó una norma para el GeoGauge, la norma ASTM – D6758 – 08 “Método de Prueba Estándar para la Medición in-situ de la Rigidez y el Módulo Aparente del Suelo y sus agregados mediante un Método Electro-Mecánico”.

La norma ASTM – D6758 – 08, establece la medición de la rigidez y el módulo aparente del suelo in situ, a través de medios electromecánicos. El procedimiento de ensayo está destinado a evaluar la rigidez o el módulo de los materiales utilizados en los trabajos de movimiento de tierras y obras viales, los resultados obtenidos de este método son aplicables a la evaluación de materiales granulares sin cohesión; también son aplicables a la evaluación de materiales limosos y arcillosos con más del 20% de finos que no están sujetos a un cambio en el contenido de humedad. La precisión de este método depende de la capacidad del personal que lo realiza y la idoneidad de equipos que se utilizan. (ASTM – D6758, 2014)

El GeoGauge es un instrumento que permite realizar una efectiva evaluación de las propiedades del diseño in situ; con un simple ensayo cuya duración es de 75 segundos; se interrelaciona el diseño, las especificaciones, la construcción y la manutención. El GeoGauge complementa y provee alternativas al módulo elástico, deflectómetro por caída de peso, CBR in situ, prueba con plato de carga, cono dinámico, penetrómetro, y otras medidas de resistencia, rigidez, modulo y deflexión.

Con la asistencia del GeoGauge, en situ y sin variar la humedad natural del suelo, se establecen de una manera eficaz los módulos resilientes y CBRs; como ya se señaló, el suelo típico es una arcilla de media a alta plasticidad de color amarillo y anaranjado, se ponen a la vista también limos y gravas arcillosas de color café y los valores de CBR son diferentes.



Imagen 18. Toma de datos Geogauge, vía Pindal-Paletillas abscisa 11+000  
 Fuente: El Autor  
 Elaboración: Lenin Sarmiento A.

Para obtener el CBR de diseño, lo hacemos por el método del Instituto del Asfalto, el que sugiere tomar el valor total de los percentiles al 60, 75 o al 87.5 % de los valores individuales, de acuerdo a la circulación que se espera transite sobre el pavimento; el número de ejes equivalentes es de 4,24 E + 05, por lo que la resistencia queda fijada para un percentil del 75,0 %. El CBR de diseño calculado es de 5,85 %, gráfica 5.

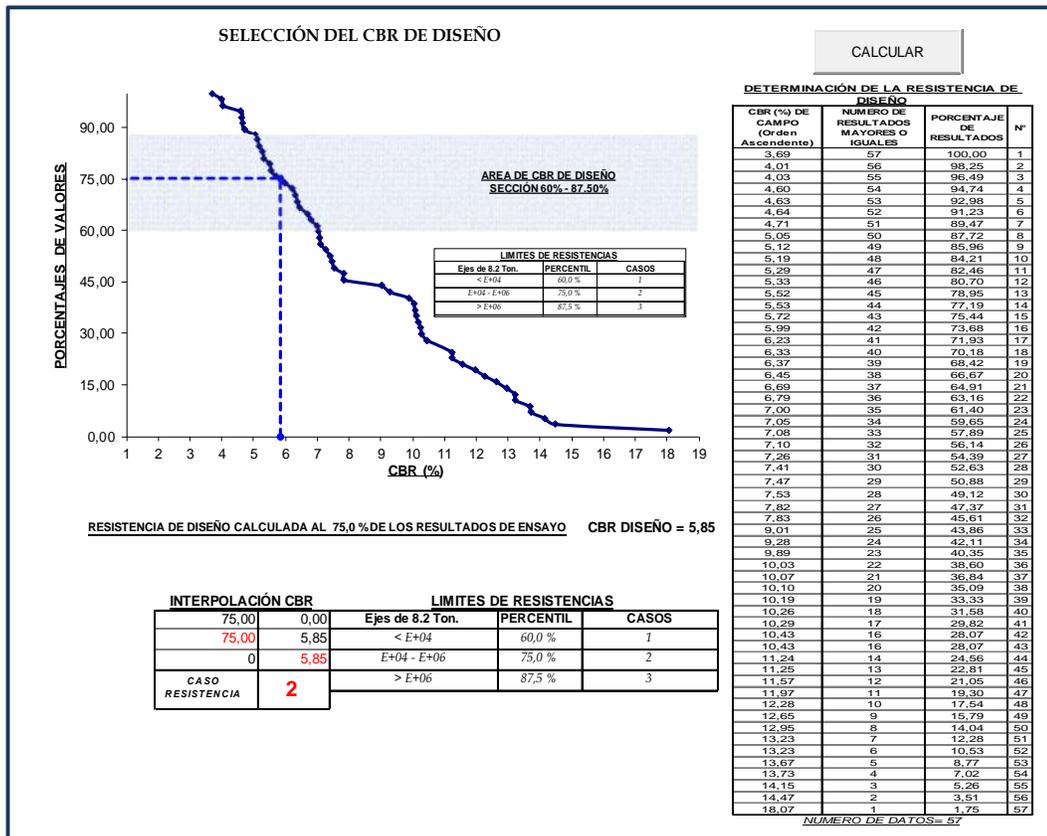


Gráfico 5. Cálculo de CBR subrasante, vía Pindal – Milagros - Paletillas  
 Fuente: El Autor  
 Elaborado por: Lenin Sarmiento

Adoptaremos este valor de CBR para todo el proyecto, por la falta de uniformidad que existe en los tramos; y, al no poder dividir el proyecto por su similitud en su capacidad de soporte de carga (CBR), el diseño de la estructura de pavimento será único y se considerará el CBR calculado para el percentil 75, esto según el tramo que mayores ejes equivalentes presenta.

#### **4.2.4. Material pétreo para la estructura del pavimento.**

Como el caso de la subrasante, los coeficientes estructurales de las diferentes capas de pavimento (Sub-base, base, Capa de rodadura), determinan sus espesores, es fundamental saber cuáles van a ser los materiales a utilizar.

En recorridos a áreas cercanas del proyecto en construcción, buscando fuentes de materiales pétreos, se decidió utilizar la mina de Potrerillos para la extracción de la mayoría de los materiales pétreos que conforman la estructura; y la cantera de Conventos, solo en el caso que se necesite colocar mejoramiento de suelo.

La mina de Potrerillos se encuentra localizada sobre el río Catamayo, en el sector conocido como Potrerillos, a una distancia de 42 Km del proyecto de mejoramiento vial, corresponde a materiales aluviales depositados en las playas del sector. El material de esta mina servirá para las diferentes capas de la estructura del pavimento, dado que el volumen evaluado es mayor a 100.000 m<sup>3</sup>, la explotación se la realiza con el equipo adecuado (cargadora o excavadora) y es transportado por volquetes hasta el sitio de acopio que se encuentra en el sector de Saucillo lugar donde se los clasifica y se tritura por parte del consorcio para después transportarlo a los sitios de trabajo. El sistema de explotación utilizado dentro del área minera es vía húmeda (lecho del río) aprovechando el Thalweg del afluente, así también las avenidas aluviales serán aprovechadas mediante zangas con gradientes ascendentes para protección de las riberas, ver figura 6.

##### **4.2.4.1. Material para mejoramiento de la subrasante**

El material de mejoramiento para la sub-rasante, debe cumplir con los siguientes requisitos (Sección 402. Mejoramiento de Subrasante. Manual 001-F-MOP): El desgaste a la Abrasión en la máquina de los Ángeles tiene que ser menor al 50%, el límite líquido debe ser menor a 35%, el índice de plasticidad debe ser menor a 9%, el material pasante del tamiz N° 200 no debe exceder del 20%, y tiene que tener una resistencia o un CBR no menor al 20%; al momento de su colocación el porcentaje de compactación no debe ser menor al 95% de su densidad seca máxima y el espesor no podrá ser menor al especificado en el diseño. Para

los presentes diseños se ha considerado no utilizar mejoramiento de la subrasante, debido a que la cantera de conventos, por sí sola no cumple con los requisitos de las especificaciones técnicas emitidas por el Ministerio de Obras Públicas (MTO) para mejoramiento por lo que sería necesario realizar una mezcla con material de la mina de Potrerillos lo que encarecería el proyecto.

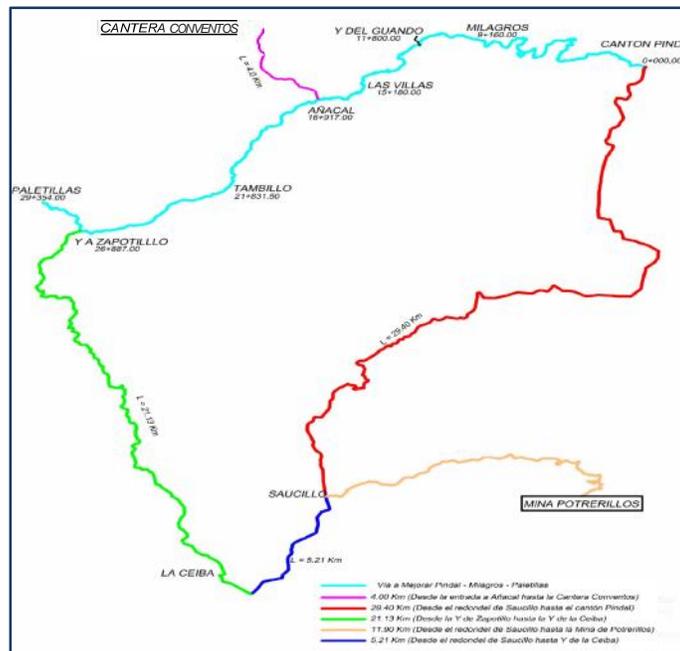


Figura 7. Ubicación de la mina Potrerillos y cantera Conventos  
 Fuente: El Autor  
 Elaborado por: El Autor

#### 4.2.4.2. Material para sub-base

El material de Sub-Base, (Sección 403. Subbases. Manual 001-F-MOP), debe cumplir con los siguientes requisitos: ser pasante 100% del tamiz de 3 pulgadas, el desgaste a la Abrasión en la máquina de los Ángeles tiene que ser menor al 50%, el límite líquido no debe ser mayor al 25%, su índice de plasticidad debe ser menor al 6%, tiene que tener una resistencia o un CBR no menor al 30%; al momento de su colocación el porcentaje de compactación no debe ser menor al 100% de su densidad seca máxima y su espesor no podrá ser menor al especificado en el diseño. El material de la mina Potrerillos fue tomado del stock, que se encuentra en el campamento de Saucillo donde se acopia, clasifica y tritura para luego ser trasladado al proyecto.

Tabla 31. Características físico – mecánicas del material de subbase clase III, mina Potrerillos

Ensayo	Especificaciones	Resultado
Desgaste a la Abrasión	< 50%	19,70 %
C.B.R.	> 30%	53,50 %
Límite líquido	< 25 %	20,40 %
Índice de plasticidad	< 6 %	3,00 %

Fuente: El Autor

Elaborado por: Lenin Sarmiento

Tabla 32. Granulometría de material de subbase clase III, mina Potrerillos.

Micras	Tamiz	Peso retenido acumulado (g)	% retenido	% que pasa	Faja de diseño
75	3"	0	0	100	100
63	2 1/2"				
50	2"				
37,5	1 1/2"				
25	1"				
19	3/4"				
12,5	1/2"				
9,5	3/8"				
4,750	Nº.4	10937	50	50	30-70
	Pasa Nº.4	10722	50	50	
2,360	Nº.8				
2,000	Nº.10				
1,180	Nº.16				
0,850	Nº.20				
0,600	Nº.30				
0,425	Nº.40				
0,300	Nº.50				
0,150	Nº.100				
0,075	Nº.200	364	4	8,3	0-20
	Pasa Nº.200	73	8,3		
	<b>Total</b>	<b>21659</b>			

Peso Total de Lavado (g):	437,00		
Peso Total después de Lavado (g):	364,00		

Fuente: El Autor

Elaborado por: Lenin Sarmiento

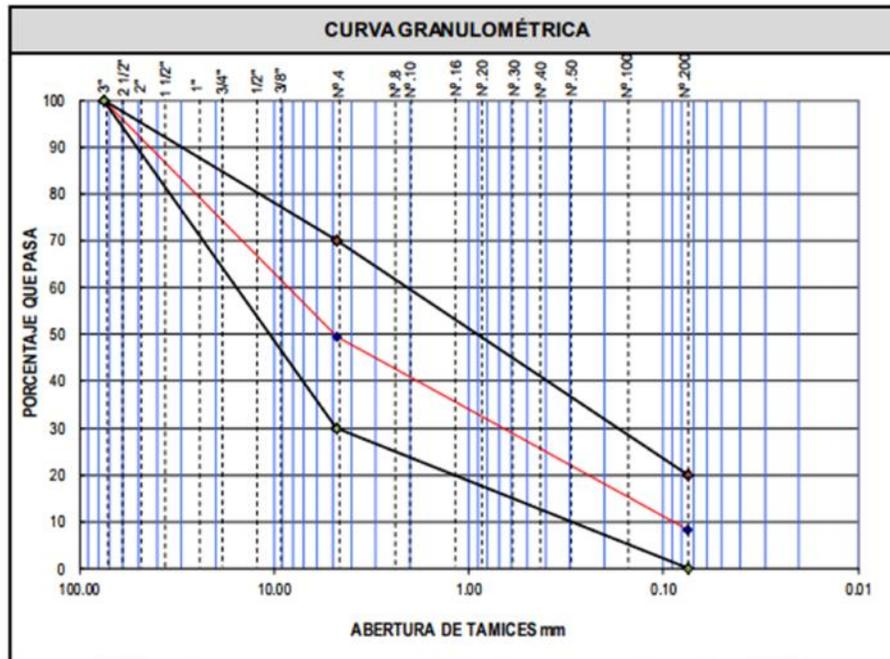


Gráfico 6. Curva granulométrica de material de subbase clase III, Mina Potrerillos  
Fuente: El Autor  
Elaborado por: Lenin Sarmiento

Según la curva granulométrica del gráfico 6 el material de sub-base clasifica como un material de sub-base clase III y cumple con los requisitos antes descritos.

#### 4.2.4.3. Material para Base Granular

El material de Base granular, debe cumplir con los siguientes requisitos (Sección 404. Bases. Manual 001-F-MOP): el desgaste a la Abrasión en la máquina de los Ángeles tiene que ser menor al 40%, su límite líquido no debe ser mayor al 25%, el índice de plasticidad debe ser menor al 6%, tiene que tener una resistencia o un CBR no menor al 80%, desgaste a los sulfatos menor al 12%, este material será compactado al 100% de su densidad máxima Proctor. La selección de este tipo de material, ayudará a elaborar los análisis de precios que se utilizará tanto en los diseños de carpeta asfáltica como en un doble tratamiento superficial bituminoso (DTSB); al igual que los demás materiales pétreos el material será de la mina de Potrerillos.

#### 4.2.4.4. Material para Base estabilizada con emulsión asfáltica

El material para la base estabilizada se obtendrá de la mina Potrerillos y cumple con la granulometría tipo B de la tabla 6. Este material al momento de su explotación, deberá

componerse de fragmentos de roca o grava, cuya fracción de agregado grueso será triturada el 80% en peso, y observará las especificaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MOP-001-F-2002), los resultados del laboratorio se puntualizan en el siguiente cuadro:

Tabla 33. Características físico – mecánicas del material para base estabilizada

Ensayo	Especificaciones	Resultado
Desgaste a la Abrasión	< 40%	19,70 %
C.B.R.	> 80%	86,60 %
Límite líquido	< 25 %	20,40 %
Índice de plasticidad	< 6 %	3,00 %
Desgaste a los sulfatos	< 12 %	6,28 %

Fuente: El Autor

Elaborado por: Lenin Sarmiento

Tabla 34 Granulometría de material de base estabilizada tipo B, mina Potrerillos

Micras	Tamiz	Peso retenido acumulado (g)	% retenido	% que pasa	Faja de diseño	Faja de trabajo
75	3"					
63	2 1/2"					
50	2"	0	0	100	100	100
37,5	1 1/2"	0	0	100	100	100
25	1"	680	11	89	70 - 100	83 - 99
19	3/4"	1470	24	76	60 - 90	70 - 86
12,5	1/2"					
9,5	3/8"	2702	44	56	45 - 75	52 - 66
4,750	Nº.4	3335	54	46	30 - 60	41 - 55
	<b>Pasa Nº.4</b>	2801	46	54		
2,360	<b>Nº.8</b>					
2,000	<b>Nº.10</b>	80	8	38	20 - 50	32 - 44
1,180	<b>Nº.16</b>					
0,850	<b>Nº.20</b>					
0,600	<b>Nº.30</b>					
0,425	<b>Nº.40</b>	276	26	20	5 - 30	15 - 25
0,300	<b>Nº.50</b>					
0,150	<b>Nº.100</b>					
0,075	<b>Nº.200</b>	444	42	3,7	0 - 5	0 - 5
	<b>Pasa Nº.200</b>	39	3,7			
	<b>TOTAL</b>	<b>6136</b>				

Peso Total de Lavado:	483,00			
Peso Total después de Lavado:	444,00			

Fuente: El Autor

Elaborado por: Lenin Sarmiento

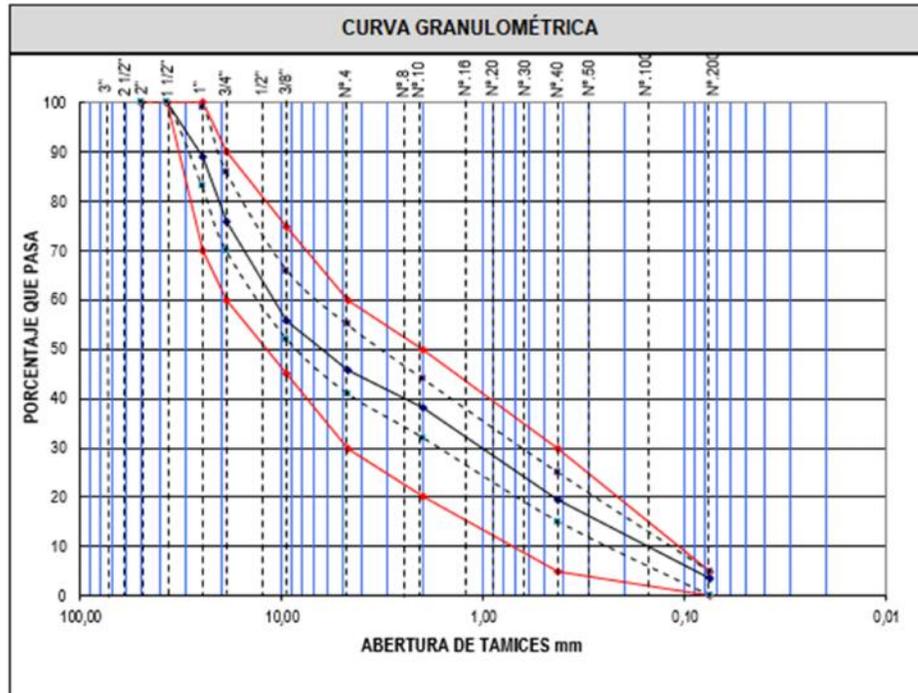


Gráfico 7. Curva de material de base estabilizada granulometría tipo B  
Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A.

Según la curva granulométrica del gráfico 7 el material de base, cumplirá con la granulometría de la Base clase 1

**4.2.4.5. Ensayos del material granular para determinar la compatibilidad con la emulsión asfáltica.**

Al material, se realiza varios ensayos para certificar el cumplimiento de las normas MOP-001-F-2002 "404-4. "Base de Hormigón Asfáltico Mezclado en Sitio". Los agregados serán obtenidos por medio de trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, estos serán limpios, sólidos, resistentes, libres de materiales orgánicos, arcillas u otras materias extrañas. Se puede verificar visualmente que el material no tiene material orgánico en su contenido, en su mayoría es un material de río triturado, sólido, resistente y limpio (imagen 19).



Imagen 19. Material granular limpio, mina Potrerillos  
Fuente: El Autor  
Elaboración: Lenin Sarmiento A.

El equivalente de arena se realizará a los agregados pasantes por el tamiz INEN 4.75 mm, tendrá un valor mínimo de 35% según Norma ASTM D2419. El porcentaje equivalente de arena del material es 63% lo que significa que el material cumple con lo especificado en la norma.



Imagen 20. Ensayo Equivalente de Arena, mina Potrerillos  
Fuente: El Autor  
Elaboración: Lenin Sarmiento A.

El máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas retenidas en el tamiz INEN 4.75mm cuya relación entre las dimensiones máximas y mínimas mayor que 5, no deberá ser mayor al 10% según la Norma 400 – Estructura del Pavimento IV- 64. El material posee un porcentaje menor al 1.5% de partículas alargadas y achatadas cuya relación entre las dimensiones sea mayor que 5, lo que significa que el material cumple con la norma ASTM D4791.

Los agregados gruesos retenidos en el tamiz INEN 4.75 mm deben tener cierta angularidad, debiendo contener al menos el 75% en peso de elementos triturados que contengan dos o más caras fracturadas según la Norma ASTM D5821. El material ensayado, cumple con lo especificado en la norma anterior, un 86.42% en peso de los elementos poseen más de 2 caras fracturadas (figura 21).



Imagen 21. Caras fracturadas, angularidad  
Fuente: El Autor  
Elaboración: Lenin Sarmiento A.

#### **4.2.4.5.1. Evaluación de material granular para base estabilizada con emulsión asfáltica:**

La emulsión asfáltica que se utilizará es de fabricación nacional, Ecuador cuenta con cuatro empresas, grandes que se dedican a la fabricación permanente de emulsiones asfálticas; Imptek o Chova del Ecuador es la empresa que provee de emulsión a la empresa constructora en Pindal, la elección de este distribuidor de emulsión, radica en su asesoramiento técnico, cuenta con un laboratorio equipado donde verifica los parámetros de diseño que constan en los estudios, y asesora en la elección de la emulsión a utilizar, la empresa Imptek Chova del Ecuador tiene un estricto control de calidad en la elaboración de emulsiones asfálticas, garantizando el cumplimiento de las normas técnicas.

Una vez que se determina el tipo de emulsión a utilizar, se realiza la mezcla del agregado con la emulsión asfáltica para realizar el ensayo de compatibilidad y peladura. Este ensayo consiste mezclar el material pétreo con la emulsión asfáltica y agua, visualizamos que el material se mezcla con la emulsión asfáltica adecuadamente, luego se lo deja secar y se lo expone al hervido, donde pudimos observar que el agregado mantiene un porcentaje de cubrimiento mayor al 95%.



Imagen 22. Ensayo de compatibilidad y peladura, mina Potrerillos  
 Fuente: El Autor  
 Elaboración: Lenin Sarmiento A.

La base asfáltica debe satisfacer los requisitos de la tabla 404-4.2 a 25 ° C

Tabla 35. Estabilidad y flujo para una base estabilizada con emulsión

Ensayo	Especificación del MOP
Estabilidad	750 Lbs - Minimo
Flujo	5 – 18 0.01”

Fuente: Especificación técnica del MTOP para bases asfálticas estabilizadas  
 Elaborado Especificación técnica del MTOP

Con el material se realizaron 5 dosificaciones de emulsión para tener una información preliminar sobre el comportamiento del material de esta cantera. El porcentaje de emulsión de las dosificaciones fue: 3%, 3.5%, 4%, 4.5% y 5%. Se realizaron 3 briquetas con cada una de las dosificaciones. Para el ensayo se procede a pesar una cantidad de material suficiente para formar una briketa de dimensiones estándar, después se le añade el porcentaje de agua que en este caso fue de 4.5% posteriormente la emulsión mezclándola homogéneamente, luego de realizar el mezclado se procede a realizar la compactación de briquetas generando 50 golpes por cada cara. Se deja secar por 24 horas al ambiente y luego 24 horas más al horno a 60 grados. Después del secado se las coloca en baño maría a temperatura de 22.5°C durante una hora y se procede a determinar la estabilidad y el flujo; los resultados de estas pruebas se muestran en la tabla 36.

Tabla 36. Determinación del contenido de asfalto, mina Potrerillos

		<b>Laboratorio de Inspección y Ensayo</b>				Código:																	
		<b>ESTABILIDAD Y FLUJO</b>				Revisión:																	
						Referencia:																	
Producto :	Base Estabilizada con Emulsión	Ensayo:	MARSHALL																				
Tipo:		Norma de ensayo:	ASTM D6927 - 06																				
Norma:	ASTM D6927 - 06	Fecha :	27-Jan-17																				
DATOS GENERALES																							
AGREGADO	ORIGEN	Potrerillos		POLIMERO	ORIGEN	N/A																	
	TIPO	Triturado de río			TIPO	N/A																	
EMULSIÓN	ORIGEN	Chova del Ecuador		OBRA	PROYECTO	Via Pindal Milagro Paletillas																	
	TIPO	Css-1h			CONTRATISTA																		
ENSAYO																							
NUMERO	BRIQUETAS		ESTABILIDAD			FLUJO 0.01"	OBSERVACIONES																
	ESPESOR	MEDIDA	LECTURA TRASFORMADA	LECTURA EN EL DIAL	FACTOR DE CORRECCIÓN			ESTABILIDAD CORREGIDA															
1	6.35	3014.73	0.032	320	1	3015	4																
2	6.2	2827.25	0.03	300	1.02	2884	3																
3	6.35	2733.51	0.029	290	1	2734	4																
						2949	3.67																
1	6.2	3577.09	0.038	380	1.04	3720	5																
2	6.3	3014.73	0.032	320	1.02	3075	6																
						2265	5.50																
							britqueta eliminada																
1	6.1	2920.99	0.031	310	1.07	3125	8																
2	6.35	3014.73	0.032	320	1	3015	7																
3	6.2	2639.76	0.028	280	1.04	2745	9																
						2962	8.00																
1	6.2	2452.28	0.026	260	1.04	2550	9																
2	6.3	2639.76	0.028	280	1.02	2693	7																
3	6.3	2733.51	0.029	290	1.02	2788	9																
						2677	8.33																
1	6.2	2827.25	0.03	300	1.04	2940	11																
2	6.3	3014.73	0.032	320	1.02	3075	9																
3	6.2	2733.51	0.029	290	1.04	2843	10																
						2953	10.00																
RESULTADOS																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">RESULTADOS</th> </tr> <tr> <th>ENSAYO</th> <th>4%</th> <th>ESPECIFICACIÓN MOP</th> <th>CUMPLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ESTABILIDAD</td> <td>2962</td> <td>750 Lbs - Mínimo</td> <td>SI</td> </tr> <tr> <td>FLUJO</td> <td>8</td> <td>5 - 18 0.01"</td> <td>SI</td> </tr> </tbody> </table>				RESULTADOS				ENSAYO	4%	ESPECIFICACIÓN MOP	CUMPLE	ESTABILIDAD	2962	750 Lbs - Mínimo	SI	FLUJO	8	5 - 18 0.01"	SI	<input checked="" type="radio"/> Conforme <input type="radio"/> No Conforme			
RESULTADOS																							
ENSAYO	4%	ESPECIFICACIÓN MOP	CUMPLE																				
ESTABILIDAD	2962	750 Lbs - Mínimo	SI																				
FLUJO	8	5 - 18 0.01"	SI																				
<b>Observaciones:</b> Según los resultados obtenidos el porcentaje de emulsión recomendado es el 4%, ya que aunque tenemos estabilidades altas en porcentajes mas bajos el flujo esta por debajo de la especificacion por lo que se recomienda usar el 4% de emulsión en este material.						Responsable Laboratorio																	

Fuente: Impetek, vía Pindal- Milagros- Paletillas  
 Elaboración: Impetek

#### 4.2.4.6. Determinación de los coeficientes estructurales:

Con el propósito de determinar el coeficiente estructural de la capa de hormigón asfáltico de la estructura del pavimento se parte de la ecuación que está en función de la estabilidad de la Mezcla asfáltica:

$$a_1=0,0078E_{MA}^{0,441} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$a_1=0,0052E^{0,555} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Al no existir en el Ecuador la tecnología necesaria, para establecer el valor del módulo resiliente de la Subrasante y de los materiales granulares que conforman la estructura del pavimento, se obtienen valores aproximados empleando las ecuaciones en función del CBR (Método AASHTO):

$$\text{Si CBR} < 10\% \text{ -}\rangle \quad M_R = 1500 \text{ (CBR)} \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$\text{Si CBR} < 10 - 20\% \text{ -}\rangle \quad M_R = 3000 \text{ (CBR)}^{0,65} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$\text{Si CBR} > 20\% \text{ -}\rangle \quad M_R = 4326 \text{ Ln (CBR)} + 241 \quad \text{Ecuación (8)}$$

Para los Coeficientes estructurales de las capas de la estructura del pavimento se aplica las ecuaciones que están función del CBR:

- Para la sub-base:

$$a_3=0,058*\text{CBR}^{0,19} \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$a_3 = 0,227 (\log E_3) - 0,839 \quad \text{Ecuación (10)}$$

- Para la base:

$$a_2=0,032*\text{CBR}^{0,32} \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$a_2 = 0,249 (\log E_2) - 0,977 \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

CBR	=	Capacidad de soporte del material
E	=	Módulo dinámico del Hormigón Asfáltico
$E_{MA}$	=	Estabilidad de la mezcla asfáltica
$a_i$	=	Coeficientes estructurales de los materiales granulares
$E_i$	=	Módulo resiliente de los materiales granulares

Tabla 37. Coeficientes estructurales capas del pavimento. Tramo 1, Pindal - Y Paletillas

Capa	CBR (%)	Estabilidad (lb)	Módulo (PSI)	Coefficiente estructural	Coefficiente de drenaje
Subrasante	5.85		8775		
Mejoramiento	20.0		14043	0.102	0.8
Subbase	30.0		15262	0.111	0.9
Base	80.0		27900	0.130	
Base Estabilizada Emulsión Asfáltica		3209	228705	0.357	1
Carpeta Asfáltica		1800	382500	0.411	1
Micropavimento	-	-	-	-	-

Fuente: El Autor

Elaborado: Lenin Sarmiento A

#### 4.3. Cálculos de la estructura del pavimento con diferentes capas de rodadura.

Con estos parámetros se procede a calcular la estructura del pavimento:

- 1.- Confiabilidad  $R = 95\%$
- 2.- Desviación Estándar Global  $S_o = 0,45$
- 3.- Desviación Estándar Normal  $Z_r = -1,645$
- 4.- Periodo de diseño  $P_d = 10$  años
- 5.- Número ejes eq.  $E_q = 4,17 E+05$
- 6.- Suelo subrasante  $CBR = 5,85\%$
- 7.- Modulo Resiliente de subrasante  $= 1500 * (CBR) = 8775 \text{ lb/pg}^2$
- 8.- Perdida de Serviciabilidad  $PSI = 2,2$   
 Serviciabilidad inicial  $(p_i) = 4,2$   
 Serviciabilidad final  $(p_f) = 2,0$
- 9.- Coeficiente de drenaje: establecido para cada capa estructural

El programa AASHTO permite determinar el número estructural necesario preliminar para el diseño como se observa en la figura 8.

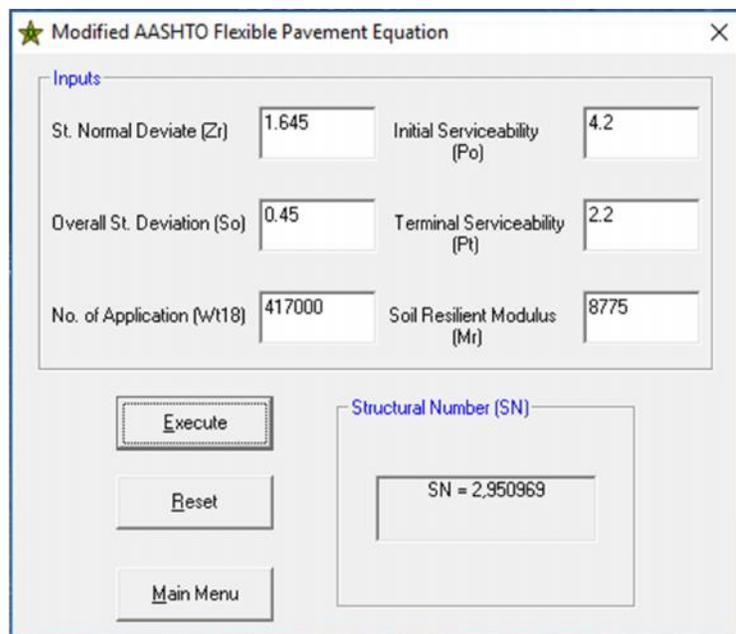


Figura 8. Cálculo del número estructural de la Subrasante

Fuente: El Autor

Elaboración: Lenin Sarmiento A

#### 4.3.1. Cálculo de espesores para periodo de diseño 10 años, con micropavimento y base estabilizada.

Los Módulos, coeficientes estructurales y de drenaje establecidos para los diferentes materiales diseñados están detallados en la tabla siguiente:

Tabla 38. Coeficientes estructurales de las capas del pavimento base estabilizada más micropavimento

Capa	CBR (%)	Estabilidad (lb)	Módulo (PSI)	Coeficiente estructural	Coeficiente de drenaje
Subrasante	5.85		8775		
Mejoramiento	20.0		14043	0.102	0.8
Subbase	30.0		15262	0.111	0.9
Base Estabilizada Emulsión Asfáltica		3209	228705	0.357	1
Micropavimento	-	-	-	-	1

Fuente: El Autor

Elaborado: Lenin Sarmiento A.

Con estos datos, procedemos a realizar los cálculos respectivos, como se puede observar en la figura 9.

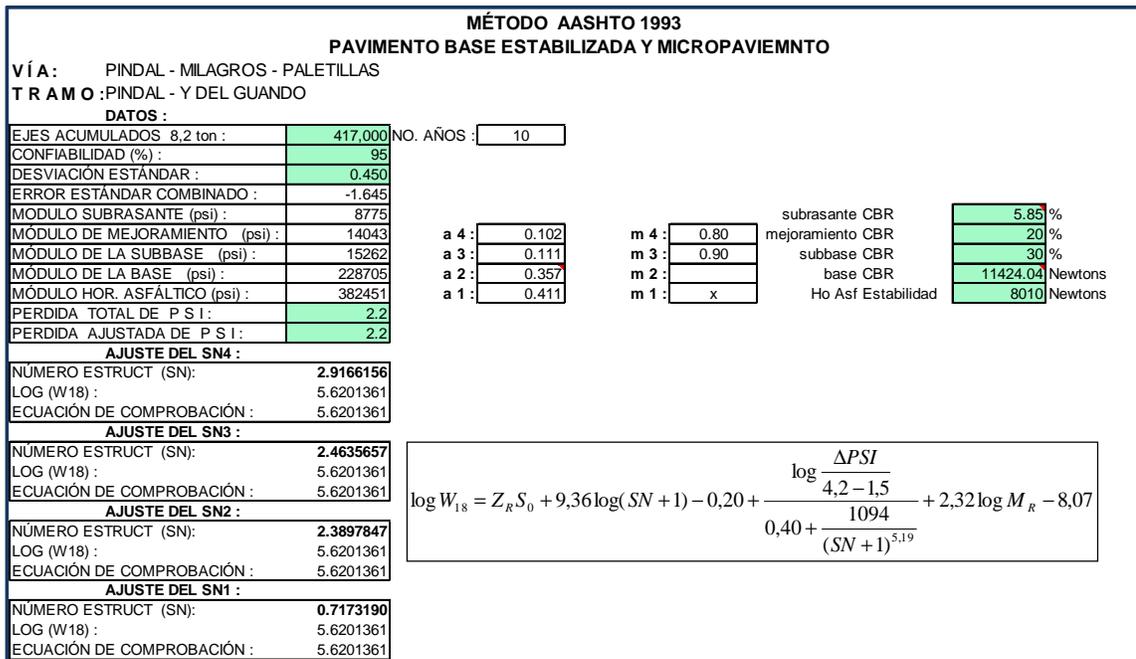


Figura 9. Cálculo del pavimento con base estabilizada y micropavimento  
Fuente: El Autor  
Elaboración: Lenin Sarmiento A

De los cálculos se obtiene los diferentes espesores de la estructura del pavimento proporcionado los siguientes resultados:

**Tramo 1:** Pindal – Y del Guando.

Tabla 39. Espesores de la estructura del pavimento con micropavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica

Capa	SN	Espesor (cm)
Micropavimento		1.5
Base estabilizada con emulsión asfáltica	2.11	15
Subbase granular clase III	0.98	25
	3.091	40.0

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A

$$SN_D < SN_C$$

$$2.95 < 3.091$$

### 4.3.2. Cálculo de espesores para periodo de diseño 10 años, con carpeta asfáltica.

Los Módulos, coeficientes estructurales y de drenaje determinados para los diferentes materiales diseñados están resumidos en la tabla 40:

Tabla 40. Coeficientes estructurales de las capas, carpeta asfáltica

Capa	CBR (%)	Estabilidad (lb)	Módulo (PSI)	Coficiente estructural	Coficiente de drenaje
Subrasante	5.85		8775		
Mejoramiento	20.0		14043	0.102	0.8
Subbase	30.0		15262	0.111	0.9
Base	80.0		27900	0.130	1.00
Carpeta Asfáltica		1800	382500	0.411	1.00

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A.

Con estos datos, procedemos a realizar los cálculos respectivos, como se puede observar en la figura 10.

**MÉTODO AASHTO 1993**  
**PAVIMENTO CARPETA ASFÁLTICA**

**VÍA:** PINDAL - MILAGROS - PALETILLAS  
**TRAMO:** PINDAL - YE DEL GUANDO

**DATOS:**

EJES ACUMULADOS 8,2 ton :	417.000	NO. AÑOS :	10
CONFIABILIDAD (%) :	95		
DESVIACION ESTANDAR :	0.450		
ERROR ESTANDAR COMBINADO :	-1.645		
MÓDULO SUBRASANTE (psi) :	8775		
MÓDULO DE MEJORAMIENTO (psi) :	14043		
MÓDULO DE LA SUBBASE (psi) :	15263		
MÓDULO DE LA BASE (psi) :	27900		
MÓDULO HOR. ASFÁLTICO (psi) :	382500		
PERDIDA TOTAL DE P S I :	2.2		
PERDIDA AJUSTADA DE P S I :	2.2		

a 4 :	0.102	m 4 :	0.80	subrasante	CBR	5.85 %
a 3 :	0.111	m 3 :	0.90	mejoramiento	CBR	20 %
a 2 :	0.130	m 2 :	1.00	subbase	CBR	30 %
a 1 :	0.411	m 1 :	x	base	CBR	80 %
				Ho Asf	Estabilidad	8010 Newtons

Variar El SN hasta que los dos valores siguientes sean iguales

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}}{1094} + 2,32 \log M_R - 8,07$$

$$0,40 + \frac{1}{(SN + 1)^{5,19}}$$

<b>AJUSTE DEL SN4 :</b>	
NÚMERO ESTRUCT (SN):	2.9166156
LOG (W18) :	5.6201361
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN :	5.6201361
<b>AJUSTE DEL SN3 :</b>	
NÚMERO ESTRUCT (SN):	2.4635658
LOG (W18) :	5.6201361
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN :	5.6201361
<b>AJUSTE DEL SN2 :</b>	
NÚMERO ESTRUCT (SN):	2.3897847
LOG (W18) :	5.6201361
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN :	5.6201361
<b>AJUSTE DEL SN1 :</b>	
NÚMERO ESTRUCT (SN):	1.9052834
LOG (W18) :	5.6201361
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN :	5.6201361

Figura 10. Cálculo del pavimento con carpeta asfáltica

Fuente: El Autor  
Elaboración: Lenin Sarmiento A

De los cálculos se obtiene los diferentes espesores de la estructura del pavimento obteniendo los siguientes resultados:

**Tramo 1:** Pindal – Y del Guando

Tabla 41. Espesores de la estructura de pavimento con carpeta asfáltica

Capa	SN	Espesor (cm)
Carpeta asfáltica	0.81	5
Base clase 1	1.02	20
Subbase granular clase III	1.18	30
	3.01	55.0

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A.

$$SN_D < SN_C$$

$$2.95 < 3.01$$

**4.3.3. Cálculo de espesores para periodo de diseño 10 años, con doble tratamiento superficial bituminoso.**

Los Módulos, coeficientes estructurales y de drenaje determinados para los diferentes materiales diseñados están resumidos en la tabla 42 a continuación:

Tabla 42. Coeficientes estructurales de las capas

Capa	CBR (%)	Estabilidad (lb)	Módulo (PSI)	Coeficiente estructural	Coeficiente de drenaje
Subrasante	5.85		8775		
Mejoramiento	20.0		14043	0.102	0.8
Subbase	30.0		15262	0.111	0.9
Base	80.0		27900	0.130	1.00
DTSB		-	-	-	1.00

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A.

Con estos datos, procedemos a realizar los cálculos respectivos, como se puede observar en la figura 11.

**MÉTODO AASHTO 1993  
PAVIMENTO DTSB**

**VÍA:** PINDAL - MILAGROS - PALETILLAS  
**TRAMO:** PINDAL - YE DEL GUANDO

**DATOS:**

EJES ACUMULADOS 8,2 ton :	417,000	NO. AÑOS :	10
CONFIABILIDAD (%) :	95		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR :	0.450		
ERROR ESTÁNDAR COMBINADO :	-1.645		
MÓDULO SUBRASANTE (psi) :	8775		
MÓDULO DE MEJORAMIENTO (psi) :	14043		
MÓDULO DE LA SUBBASE (psi) :	15263		
MÓDULO DE LA BASE (psi) :	27900		
MÓDULO HOR. ASFÁLTICO (psi) :	382500		
PERDIDA TOTAL DE P S I :	2.2		
PERDIDA AJUSTADA DE P S I :	2.2		

a 4 :	0.102	m 4 :	0.90	subrasante	CBR	5.85%
a 3 :	0.111	m 3 :	0.90	mejoramiento	CBR	20%
a 2 :	0.130	m 2 :	1.00	subbase	CBR	30%
a 1 :	0.411	m 1 :	x	base	CBR	80%
				Ho Asf	Estabilidad	8010 Newtons

Variar El SN hasta que los dos valores siguientes sean iguales

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

<b>AJUSTE DEL SN4 :</b>	
NÚMERO ESTRUCT (SN):	2.9166156
LOG (W18) :	5.6201361
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN :	5.6201361
<b>AJUSTE DEL SN3 :</b>	
NÚMERO ESTRUCT (SN):	2.4635658
LOG (W18) :	5.6201361
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN :	5.6201361
<b>AJUSTE DEL SN2 :</b>	
NÚMERO ESTRUCT (SN):	2.3897847
LOG (W18) :	5.6201361
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN :	5.6201361
<b>AJUSTE DEL SN1 :</b>	
NÚMERO ESTRUCT (SN):	1.9052834
LOG (W18) :	5.6201361
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN :	5.6201361

Figura 11. Cálculo del pavimento con DTSB

Fuente: El Autor

Elaboración: Lenin Sarmiento A

De los cálculos se obtiene los diferentes espesores de la estructura del pavimento obteniendo los siguientes resultados:

### Tramo 1: Pindal – Y del Guando

Tabla 43. Espesores de la estructura del pavimento con DTSB

Capa	SN	Espesor (cm)
DTSB		
Base clase 1	1.28	25
Subbase granular clase III	1.76	45
	3.95	70.0

Fuente: El Autor

Elaborado: Lenin Sarmiento A

$$SN_D < SN_C$$

$$2.95 < 3.04$$

En los diseños no se consideró capa de mejoramiento, por uniformizar los diseños con respecto al transporte sumado a esto, la cantera conventos no presenta las características físicas adecuadas.

#### 4.3.4. Sección típica con diferentes capas de rodadura

La sección típica de diseño tendrá un ancho de calzada de 6,00 m, dos cunetas de 0,60 m a ambos lados de la vía, dando un ancho total de 7,20 m de calzada, como se observa en la Figura 3.

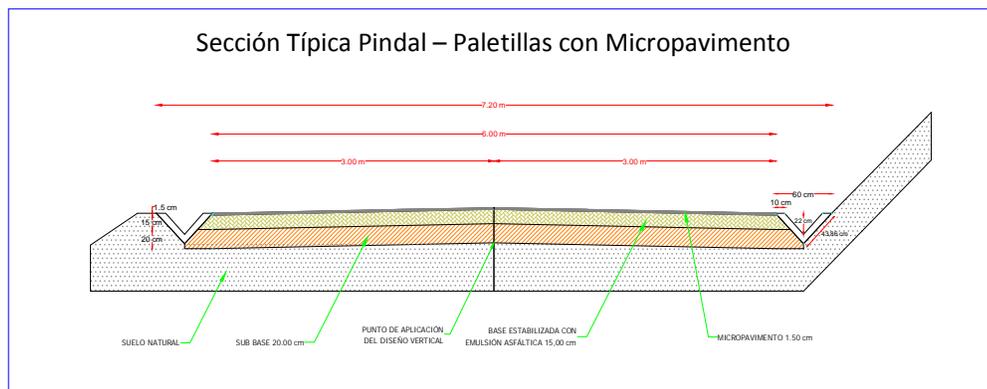


Figura 12. Sección Típica adoptada para el análisis de los diseños  
Fuente: El Autor  
Elaborado por: El Autor

En la tabla 44, resumimos los diferentes espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento (base, base estabilizada, sub-base, subrasante).

Tabla 44. Espesores de la estructura del pavimento

	Espesores de la estructura de pavimento				
	Capa de rodadura (cm)	Base (cm)	Base Estabilizada (cm)	Sub-Base (cm)	Total espesor (cm)
<b>Micro-pavimento</b>	1.5	-	15	25	<b>40</b>
<b>Hormigón asfáltico</b>	5	10	-	20	<b>35</b>
<b>DTSB</b>	-	25	-	45	<b>70</b>

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A

El hormigón asfáltico o carpeta asfáltica (tabla 44), es la estructura con menor espesor, lo que hace suponer que sería la solución más económica, con estos espesores proyectaremos más adelante el costo por metro cuadrado de estructura de pavimento, y el costo anual equivalente; analizaremos si el micropavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica es más conveniente referente a costos, plazos y calidad constructiva.

#### **4.4. Costos de sub-base, base y base estabilizada con emulsión asfáltica.**

Para obtener un estudio de costos, es necesario el desarrollo de análisis de precios unitarios, para lo cual se debe analizar dos partes constitutivas, los costos directos, e indirectos. Con los costos directos obtenemos el valor real de ejecución de cada una de las actividades, se analiza lo referente al equipo y maquinaria, mano de obra, materiales conforme el requerimiento y en caso que no se pague el transporte por separado se incluirá en el análisis. Los costos indirectos son aquellos valores que no dependen directamente de la ejecución de las actividades, son gastos relacionados con el manejo administrativo de ejecución.

Los análisis de precios, fueron elaborados en base a los publicados en el Portal de Contratación Pública, con la finalidad de obtener valores reales de ejecución y realizar la comparación de costos; los valores de mano de obra son los emitidos en la tabla salarial ecuatoriana; a continuación, se detalla los análisis de precios de la sub-base, base, base estabilizada con emulsión asfáltica y transporte de áridos en las tablas 43, 44, 45, 46.

#### **4.5. Doble tratamiento superficial (DTSB)**

##### **4.5.1. Descripción.**

Se trata de un tipo de capa de protección asfáltica, que es aplicada directamente sobre una base granular, o sobre un pavimento existente, este tipo de solución asfáltica (DTSB), ayuda a sellar la superficie de rodadura o mejora las propiedades del pavimento existente.

El proceso constructivo consiste en la doble aplicación de un ligante bituminoso al cual se le agrega una capa de agregado pétreo del tipo grava chancada de alta cubicidad en su forma, mono tamaño y muy uniforme, la incrusta en el ligante es por medio de compactación neumática. Los tamaños medios de agregados utilizados son 19 mm (3/4") para la primera aplicación y 9,5 mm (3/8"), para una segunda aplicación.

La durabilidad y calidad de un DTSB varía de acuerdo a (Villavicencio Figueroa, 2015):

- a. El tipo de la emulsión empleada y su calidad (porcentaje de residuo, con o sin polímeros/elastómero),
- b. la calidad y limpieza de los agregados pétreos empleados,

- c. la capacidad y dominio de la técnica del constructor,
- d. y las condiciones climáticas al momento de la aplicación.

Otros factores a considerar son, la terminación superficial, espesor y capacidad estructural de la base, y la capacidad de soporte de la sub-base existente a nivel de subrasante.

#### 4.5.2. Desempeño y vida útil esperada.

El manual RAMM-NZ 2004, para la red de caminos de Nueva Zelanda, recomienda valores de la vida útil de servicio de un DTSB como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 45: Vida de servicio esperada por nivel de tránsito DTSB. NZ RAMM Manual.

Tipo de Tratamiento Superficial	Transito 1 (<100 TMDA)	Transito 2 (100-500 TMDA)	Transito 3 (500-2000 TMDA)	Transito 4 (2000-4000 TMDA)	Transito 6 (4000-10000 TMDA)	Transito 6 (10000-20000 TMDA)
	Vida de Servicio (años)					
<b>PRIMERA CAPA SOBRE BASE GRANULAR (First Coat)</b>						
DTS - 14 y 7 mm máx	6	4	3	2	2	1
DTS - 16 y 9,5 mm máx	8	6	5	4	3	2
DTS - 19 y 13 mm máx	10	8	6	5	4	3

Fuente: Red de caminos de Nueva Zelanda  
Elaboración: NZ RAMM Manual

La red vial rural de la provincia de Loja tiene como característica que el tránsito que circula por cada una de sus vías, no supera un TMDA de 500 vehículos; en el Ecuador los DTSB son construidos generalmente con tamaños de agregados, 19 mm (3/4") en primera aplicación y 10 mm (3/8") en la segunda aplicación, por lo general en el Ecuador se sigue usando asfaltos diluidos para la capa bituminosa, sería razonable usar asfaltos emulsificados por que poseen mejoradores de adherencia, permitiendo la óptima adherencia con el agregado. De acuerdo a recomendaciones del manual RAMM de Nueva Zelanda se estima que la vida útil de la capa de protección con asfaltos emulsificados es de 8 años, de la experiencia de los constructores en el país con asfaltos diluidos la vida útil de un DTSB es de aproximadamente 2 años para su primera intervención de mantenimiento.

Tabla 46. Análisis de precios sub-base clase III

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO:					
SUB-BASE CLASE III					
DETALLE:		UNIDAD:		m3	
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Camion Cisterna 10000 Lit.	1,00	23,4004	23,40041	0,01414	0,33088
Herramientas manuales (5% M.O.)					0,02577
Rodillo Vibratorio Liso de 145 HP	1,00	38,2078	38,20781	0,01414	0,54026
Motoniveladora de 135 HP	1,00	49,7741	49,77408	0,01414	0,70381
SUBTOTAL (M)					1,60072
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO-HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Op. de Motoniveladora	1	3,82	3,82000	0,01414	0,05401
CHOFER: lanqueros	1	5,00	5,00000	0,01414	0,07070
Engrasador o abastecedor responsable <Estr.Oc.U2>	3	3,45	10,35000	0,01414	0,14635
Op. Rodillo autopropulsado	1	3,64	3,64000	0,01414	0,05147
Peón	4	3,41	13,64000	0,01414	0,19287
SUBTOTAL (N)					0,51540
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Material cribado	m3.	1,0500	2,70000	2,83500	
Material triturado	m3.	0,2000	12,00000	2,40000	
SUBTOTAL (O)					5,23500
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL (P)					
Estos precios no incluyen IVA					
Loja, junio del 2017.					
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>					7,35112
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b> 20,00%					1,47022
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>8,82</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>8,82</b>

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A

Tabla 47. Análisis de precios base clase I

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO: BASE CLASE I					
DETALLE:					
					UNIDAD: m3
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Rodillo Vibratorio Liso de 145 HP	1,00	38,2078	38,20781	0,01105	0,42220
Motoniveladora de 135 HP	1,00	49,7741	49,77408	0,01105	0,55000
Herramientas manuales (5% M.O.)					0,02014
Camión Cisterna 10000 Lit.	1,00	23,4004	23,40041	0,01105	0,25857
SUBTOTAL (M)					1,25091
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO-HORA	RENDIMIENTO	COSTO
CHOFER: Tanqueros	1	5,00	5,00000	0,01105	0,05525
Op. Rodillo autopropulsado	1	3,64	3,64000	0,01105	0,04022
Op. de Motoniveladora	1	3,82	3,82000	0,01105	0,04221
Peón	4	3,41	13,64000	0,01105	0,15072
Engrasador o abastecedor responsable <Estr.Oc.D2>	3	3,45	10,35000	0,01105	0,11437
SUBTOTAL (N)					0,40277
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Material triturado	m3.	1,2500	12,00000	15,00000	
SUBTOTAL (O)					15,00000
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL (P)					
Estos precios no incluyen IVA.					
Loja, junio del 2017.					
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>					16,65368
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b> 20,00%					3,33074
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>19,98</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>19,98</b>

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A

Tabla 48. Análisis de precios base estabilizada con emulsión

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO: BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN AL 4por ciento					
DETALLE:					UNIDAD: m3
Espec: Emulsión de rotura lenta Tipo CSS-1h. El Costo de los Materiales es transportado al sitio de la obra					
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Motoniveladora de 135 HP	1,00	49,7741	49,77408	0,00988	0,49177
Tanquero Distribuidor de Asfalto o Emulsión	1,00	51,0000	51,00000	0,00988	0,50388
Rodillo de Neumático 80 HP	1,00	40,1474	40,14738	0,00988	0,39666
Recicladora de asfalto	1,00	133,3800	133,38000	0,00988	1,31779
Rodillo Vibratorio Liso de 145 HP	1,00	38,2078	38,20781	0,00988	0,37749
Tanque reserva	1,00	5,0000	5,00000	0,00988	0,04940
Camión Cisterna 10000 Lit.	1,00	23,4004	23,40041	0,00988	0,23120
SUBTOTAL (M)					3,36819
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO-HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Op. de Recicladora de pavimento asfáltico	1	3,82	3,82000	0,00988	0,03774
Op. Rodillo autopropulsado	2	3,64	7,28000	0,00988	0,07193
Peón	4	3,41	13,64000	0,00988	0,13476
Op. de Motoniveladora	1	3,82	3,82000	0,00988	0,03774
Engrasador o abastecedor responsable <Estr.Oc.D2>	2	3,45	6,90000	0,00988	0,06817
CHOFER: Tanqueros	2	5,00	10,00000	0,00988	0,09880
SUBTOTAL (N)					0,44914
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Material cribado	m3.	0,6100	2,70000	1,64700	
Material triturado	m3.	0,6100	12,00000	7,32000	
Emulsión Asfáltica	lit.	70,0000	0,45000	31,50000	
SUBTOTAL (O)					40,46700
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL (P)					
Estos precios no incluyen IVA					
Loja, junio del 2017.					
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>					44,28433
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					8,85687
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>53,14</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>53,14</b>

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A

Tabla 49. Análisis de precios transporte

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO: TRANSPORTE MAT. PETREOS, BASE, SUB-BASE, MAT. TRITU, DE PRÉSTAMO Y OTROS, D/L=0 KM					
DETALLE: m3*km				UNIDAD:      m3*Km	
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Volquete min 20 ton.	4,00	28,8101	115,24032	0,00164	0,18899
SUBTOTAL (M)					0,18899
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO-HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Engrasador o abastecedor responsable <Estr.Oc.D2>	4	3,45	13,80000	0,00164	0,02263
CHOFER: Volquetas	4	5,00	20,00000	0,00164	0,03280
SUBTOTAL (N)					0,05543
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
SUBTOTAL (O)					
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL (P)					
Estos precios no incluyen IVA					
Loja, 2017.					
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M +N+O+P)</b>					0,24442
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>					20,00%      0,04888
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>0,29</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>0,29</b>

Fuente: El Autor  
 Elaborado: Lenin Sarmiento A

#### 4.5.3. Costo anual equivalente sin transporte.

Con las consideraciones anteriores un DTSB, tiene un costo anual equivalente por m<sup>2</sup> de capa de rodadura más base y sub-base granular de:

Costo anual equivalente de una vía nueva:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura} + \text{Costo de Base} + \text{Costo de Subbase}}{\text{Vida Util esperada de la Estructura}}$$

Ecuación (12)

$$C.A.Eq = 1.07 (\$/ \text{año})$$

Costo anual equivalente para una rehabilitación:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura}}{\text{Vida Util esperada de la Capa de Rodadura}}$$

Ecuación (13)

$$C.A.Eq = 1.09 (\$/ \text{año})$$

#### 4.5.4. Costo anual equivalente con transporte

Con las consideraciones anteriores un DTSB, tiene un costo anual equivalente por m<sup>2</sup> de capa de rodadura más base y sub-base granular con transporte incluido de:

Costo anual equivalente de una vía nueva:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura} + \text{Costo de Base} + \text{Costo de Subbase} + \text{Transporte}}{\text{Vida Util esperada de la Estructura}}$$

Ecuación (14)

$$C.A.Eq = 2.05 (\$/ \text{año})$$

Costo anual equivalente para una rehabilitación:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura} + \text{Transporte}}{\text{Vida Util esperada de la Capa de Rodadura}}$$

Ecuación (15)

$$C.A.Eq = 1.72 (\$/ \text{año})$$

Tabla 50. Análisis de precios Doble tratamiento superficial bituminoso

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>						
RUBRO: DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL BITUMINOSO.						
DETALLE:						
					UNIDAD:	m2
<b>EQUIPOS</b>						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Distribuidora de asfalto 1500 Gln.	1,00	86,0301	86,03010	0,00481	0,41380	
Herramientas manuales (5% M.O.)					0,01705	
Rodillo de Neumáticos 77 HP	1,00	40,9710	40,97100	0,00481	0,19707	
Distribuidora de agregados	1,00	44,4600	44,46000	0,00481	0,21385	
Rodillo liso tandem	1,00	33,3450	33,34500	0,00481	0,16039	
Tanque reserva	1,00	5,0000	5,00000	0,00481	0,02405	
SUBTOTAL (M)					1,02621	
<b>MANO DE OBRA</b>						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO-HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Op. Distribuidor de agregados	1	3,64	3,64000	0,00481	0,01751	
Engrasador o abastecedor responsable <Estr.Oc.D2>	5	3,45	17,25000	0,00481	0,08297	
Op. Rodillo autopropulsado	2	3,64	7,28000	0,00481	0,03502	
Peón	10	3,41	34,10000	0,00481	0,16402	
CHOFER: Tanqueros	1	5,00	5,00000	0,00481	0,02405	
Op. Distribuidor de asfalto	1	3,64	3,64000	0,00481	0,01751	
SUBTOTAL (N)					0,34108	
<b>MATERIALES</b>						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
Asfalto	Lt.	3,1000	0,40000	1,24000		
Material triturado 3/4	m3.	0,0240	14,00000	0,33600		
Diesel	Lt.	0,1150	0,57000	0,06555		
Material cribado 3/8 puig.	m3.	0,0140	16,00000	0,22400		
SUBTOTAL (O)					1,86555	
<b>TRANSPORTE</b>						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
SUBTOTAL (P)						
Estos precios no incluyen IVA						
Loja, 2017.						
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (# +N+O+P)</b>					3,23284	
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b> 20,00%					0,64657	
<b>OTROS INDIRECTOS</b>						
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>3,88</b>	
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>3,88</b>	

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A

## **4.6. Micro-Pavimento.**

### **4.6.1. Descripción.**

En el norte del País, este tipo de aplicaciones han ido ganando espacio principalmente por su relativo bajo costo, en la provincia de Loja donde se encuentra el caso en estudio, a partir del año 2015 la Prefectura de Loja, dio inicio a la ejecución de proyectos viales, con asfaltos en frío o in situ, trabajos que consiste en mejorar la capa de base (base estabilizada con emulsión), con la finalidad que absorba las cargas de tránsito y sobre esta colocar una capa de micro-pavimento, que ayude a incrementar el confort de la circulación vehicular, con la técnica constructiva correcta, un micro-pavimento debería asemejarse a una carpeta asfáltica. Es conocido que este tipo de aplicaciones con emulsiones de alto contenido de polímeros y/o látex, son muy utilizadas en el cierre de grietas superficiales, evitando que el agua penetre hacia la base o sub-base de la estructura y produzca el bache.

Según las Especificaciones Técnicas que emite el Ministerio de Transporte y Obras Públicas un Micro-Pavimento, es la mezcla de una emulsión catiónica modificada con polímeros, agregados triturados, agua, relleno mineral y otros aditivos, apropiadamente proporcionados y esparcidos sobre una superficie preparada. De acuerdo al tipo de polímero que se use en la emulsión, un micro-pavimento, garantizará una mayor flexibilidad, mayor resistencia a la degradación por rayos UV, mayor capacidad de retención de partículas, menor deterioro por la oxidación del pavimento, mejor capacidad de transmitir los esfuerzos de carga, los micro-pavimentos se pueden aplicar en espesores de una sola capa o multicapas; todo esto se traduce en una vida útil mayor.

### **4.6.2. Agregados.**

Los agregados en un micro-pavimento deben ser 100 % triturados, sin fluctuaciones drásticas en su granulometría, la ISSA (Asociación Internacional de Recubrimientos con Morteros) en su norma ISSA A 165, permite tres tipos de granulometrías estándar; en el Ecuador usamos solo el tipo II y III que son las que contemplan la normativa ecuatoriana, la selección de la granulometría se la realiza de acuerdo a la estructura, tráfico y condiciones climatológicas del sector. En la tabla 51 se indican las granulometrías para micropavimento:

Tabla 51 Granulometrías micropavimiento Tipo MTOP

<b>Tipo</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>Tamaño del Tamiz</b>	<b>Porcentaje que Pasa</b>	
9.5 mm (3/8")	100	100
4.75 mm (No. 4)	90-100	70-90
2.36 mm (No. 8)	65-90	45-70
1.18 mm (No. 16)	45-70	28-50
600 micrones (No. 30)	30-50	19-34
300 micrones (No. 50)	18-30	12-25
150 micrones (No. 100)	10-21	7-18
75 micrones (No. 200)	5-15	5-15
Contenido de asfalto en el mortero asfáltico %	7.5-13.5	6.5-12
Típica tasa de aplicación kg/m <sup>2</sup>	5.4-9.1	8.2-13.6

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2002  
 Elaborado por: Ministerio de Transporte y Obras Públicas

En la presente investigación, los agregados serán 100 % triturados y provendrán de la mina de Potrerillos se utilizará la faja tipo II de acuerdo a la granulometría y condiciones del sitio.

#### **4.6.3. Emulsión Asfáltica.**

Se debe hacer un diseño previo de tipo de emulsión que se va utilizar esto de acuerdo a las características de los agregados, mezcla, tipo de aplicación, condiciones ambientales y climatológicas; las emulsiones utilizadas para este tipo de aplicaciones son normalmente, emulsiones catiónicas de ruptura lenta (CSS-1, CSS-1h) y emulsiones catiónicas de ruptura rápida (CQS-1h). Antes de proceder a la ejecución de los trabajos se debe verificar la compatibilidad y reactividad con los agregados, verificar el diseño, de acuerdo a las características del material pétreo, la mezcla, tipo de aplicación, condiciones ambientales y climatológicas. Los polímeros que ayudan a mejorar las propiedades de la emulsión deberán basarse en residuos asfálticos, para el caso de micro-pavimentos esta cantidad fluctúa del 3 al 4 %.

#### **4.6.4. Desempeño y vida útil esperada**

Según la Gransberg, NCHRP Synthesis 411 - Microsurfacing - A Synthesis of Highway Practice, 2010, la vida útil de un micropavimento, es de alrededor de 7 años, cuando la estructura del pavimento es nueva o se encuentra en buena condición. Basados en los estudios de la entidad provincial y de la experiencia de los constructores se espera que la vida útil del micropavimento sea cuatro años.

#### 4.6.5. Costo anual equivalente sin transporte

Con las consideraciones anteriores un micro-pavimento, tiene un costo anual equivalente por m<sup>2</sup> de capa de rodadura, base estabilizada con emulsión asfáltica y sub-base granular de:

Costo anual equivalente de una vía nueva:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura} + \text{Costo de Base} + \text{Costo de Subbase}}{\text{Vida Util esperada de la Estructura}}$$
$$C.A.Eq = 1.07 (\$/ \text{año})$$

Costo anual equivalente para una rehabilitación:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura}}{\text{Vida Util esperada de la Capa de Rodadura}}$$
$$C.A.Eq = 0.55 (\$/ \text{año})$$

#### 4.6.6. Costo anual equivalente con transporte

Con las consideraciones anteriores un micro-pavimento, tiene un costo anual equivalente por m<sup>2</sup> de capa de rodadura, base estabilizada con emulsión asfáltica, sub-base granular, y transporte de los materiales pétreos de:

Costo anual equivalente de una vía nueva:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura} + \text{Costo de Base} + \text{Costo de Subbase} + \text{Transporte}}{\text{Vida Util esperada de la Estructura}}$$
$$C.A.Eq = 1.63 (\$/ \text{año})$$

Costo anual equivalente para una rehabilitación:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura} + \text{Transporte}}{\text{Vida Util esperada de la Capa de Rodadura}}$$
$$C.A.Eq = 0.60 (\$/ \text{año})$$

Tabla 52. Análisis de precios Micropavimento

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO: MICROPAVIMENTO -TIPO II (EMULSIÓN CSS-1h, Polímero 3por ciento SBR) e=1.50 cm.					
DETALLE: Espec: El Costo de los Materiales es transportado al sitio de la obra					UNIDAD: <b>m2</b>
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Cargadora frontal 110 HP.	1,00	32,3391	32,33909	0,00199	0,06435
Escoba autopropulsada de 80 HP	1,00	28,6767	28,67670	0,00199	0,05707
Planta Móvil Slurry<micropavimentadora>	1,00	133,3800	133,38000	0,00199	0,26543
Tanque reserva	1,00	5,0000	5,00000	0,00199	0,00995
Herramientas manuales (5% M.O.)					0,00419
SUBTOTAL (M)					0,40099
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO-HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Op. de Cargadora frontal <Payloader sobre ruedas u orug	1	3,82	3,82000	0,00199	0,00760
Peón	6	3,41	20,46000	0,00199	0,04072
Op. de Barredora autopropulsada	1	3,64	3,64000	0,00199	0,00724
Operador de Camión mezclador para micropavimentos	1	3,82	3,82000	0,00199	0,00760
Engrasador o abastecedor responsable <Estr.Oc.D2>	3	3,45	10,35000	0,00199	0,02060
SUBTOTAL (N)					0,08376
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Aditivo control de rotura	kg.	0,0100	2,00000	0,02000	
Agregado triturado granulometría tipo II	m3.	0,0110	17,00000	0,18700	
Agua	Lt.	3,0000	0,00057	0,00171	
emulsion para micropavimentos con polímero 3% sbr	lit.	2,4700	0,59000	1,45730	
Cemento portland	kg.	0,1900	0,14000	0,02660	
SUBTOTAL (O)					1,69261
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL (P)					
Estos precios no incluyen IVA Loja, 2017.					
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M +N+O +P)</b>					2,17736
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>				20,00%	0,43547
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>2,61</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>2,61</b>

Fuente: El Autor  
 Elaborado: Lenin Sarmiento A

#### 4.7. Hormigón Asfáltico o carpeta asfáltica

Soporta las acciones de las cargas y las transmite hacia las capas inferiores de la estructura, conformada por agregados, relleno mineral y material asfáltico mezclados en caliente. La construcción de la carpeta asfáltica sigue el siguiente procedimiento.

#### **4.7.1. Agregados.**

El material pétreo será piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural y arena de acuerdo a la gradación del estudio contratado y se pueden clasificar en A, B o C. El material debe ser fragmentado, resistente y libre de materiales nocivos. Su porcentaje de humedad no puede ser mayor al 1%. Tendrán un desgaste mayor de 40%, un índice de plasticidad menor a 4, desgaste a sulfatos de sodio mayor al 12%, impregnación mayor al 95%, 85% por lo menos una cara fracturada y el 80% dos caras fracturadas. Angularidad mínima del 45%, partículas alargadas y achatadas menor al 10% y un porcentaje de deletéreos menor al 1%.



Imagen 23: Trituración de materiales para carpeta asfáltica  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### **4.7.2. Riego de imprimación.**

Es el suministro y distribución de un bitumen con asfalto diluido de curado medio, previo a su colocación debe realizarse la limpieza de la capa y los datos topográficos colocados de acuerdo al diseño geométrico. Cuando existan excesos de material bituminoso sobre la superficie debe colocarse arena secante. El equipo a usar es: barredora mecánica, un soplador incorporado o aparte y un distribuidor de asfalto a presión autopropulsado.



(a)

(b)

Imagen 24. a: barredora; b: Riego de imprimación  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### 4.7.3. Fabricación de la mezcla asfáltica.

Se contará con una planta de preparación del hormigón asfáltico; para la fabricación de la mezcla asfáltica se respetará la formula maestra ensayada y aprobada.



Imagen 25. Planta de fabricación de hormigón asfáltico  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### 4.7.4. Transporte y distribución de la mezcla.

El transporte se lo realiza en camiones de volteo con cajones metálicos y cerrados. La distribución se la realiza con una maquina terminadora autopropulsada, capaz de cumplir los

espesores, alineamientos y pendientes. La terminadora consta de tolva delantera, cajón posterior, un tornillo sinfín y plancha enrasadora vibrante.

La distribución de la mezcla debe ser continua, uniforme, con espesor, ancho y pendiente establecida y textura adecuada. El espesor máximo de una capa es de 7,50 cm.



(a)



(b)

Imagen 26. a, b, Transporte y distribución de la mezcla  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### 4.7.5. Emparejamiento de la mezcla.

Para el terminado de la capa de rodadura se precisa de un alisado manual que empareje fallas dejadas por la plancha enrasadora. Este trabajo se realiza con mano de obra y rastrillos metálicos.



(a)



(b)

Imagen 27. a, b, Emparejamiento y distribución de la mezcla  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### 4.7.6. Compactación.

Se la realiza con rodillos lisos de ruedas de acero (10 y 12 toneladas), rodillos vibratorios (8 y 10 toneladas) y rodillos neumáticos autopropulsados. El número de pasados o rodillos dependen del espesor de la mezcla. La vibración debe mejorar el terminado de la superficie, eliminando marcas o huellas dejadas.



Imagen 28. Compactación de la mezcla  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### 4.7.7. Recepción de la capa con mezcla asfáltica.

Se toma muestras periódicamente de la mezcla en caliente de acuerdo a la formula maestra de obra y a los ensayos método Marshall.



Imagen 29. Densidades de la mezcla asfáltica  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### 4.7.8. Desempeño y vida útil esperada

Se considera que una capa de asfalto en caliente, de 5 cm de espesor, instalada sobre una base granular chancada, tendrá una vida de servicio esperada de 9 años – escenario optimista, como referencia tenemos la rehabilitación de la vía estatal San Pedro de la Bendita – Velacruz – Catacocha – Macara – Puente Internacional; la misma que después de un año que se dejó de dar mantenimiento por parte de la empresa constructora ya se encontraba con algunos baches, es por ese motivo y de las experiencias en el país se considera una vida útil de la capa de rodadura de 5 años.

#### 4.7.9. Costo anual equivalente sin transporte

Con las consideraciones anteriores un hormigón asfáltico, tiene un costo anual equivalente por m<sup>2</sup> de capa de rodadura más base estabilizada con emulsión asfáltica y su-base granular es de:

Costo anual equivalente de una vía nueva:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura} + \text{Costo Base Estabilizada} + \text{Costo Subbase}}{\text{Vida Util esperada de la Estructura}}$$

$$C.A.Eq = 1.31 (\$/ \text{año})$$

Costo anual equivalente para una rehabilitación:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura}}{\text{Vida Util esperada de la Capa de Rodadura}}$$

$$C.A.Eq = 1.52 (\$/ \text{año})$$

Como en todos los casos la efectividad de la solución escogida dependerá de la intensidad del tráfico que el sello vaya a soportar, el clima, y las buenas practicas constructivas.

#### 4.7.10. Costo anual equivalente con transporte

Con las consideraciones anteriores un hormigón asfáltico, tiene un costo anual equivalente por m<sup>2</sup> de capa de rodadura más base granular, su-base granular, y un factor que del análisis se ha podido desprender el costo del transporte, así se tiene que:

Costo anual equivalente de una vía nueva:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura} + \text{Costo de Base} + \text{Costo de Subbase} + \text{Transporte}}{\text{Vida Util esperada de la Estructura}}$$

$$C.A.Eq = 2.06 (\$ / \text{año})$$

Costo anual equivalente para una rehabilitación:

$$C.A.Eq = \frac{\text{Costo Capa Rodadura} + \text{Transporte}}{\text{Vida Util esperada de la Capa de Rodadura}}$$

$$C.A.Eq = 1.65 (\$ / \text{año})$$

Tabla 53. Análisis de precios carpeta asfáltica

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO: CAPA DE RODADURA DE HORMIGÓN ASFÁLTICO MEZCLADO E=2"			HOJA: 21 DE 36		
DETALLE:			UNIDAD: M2		
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Planta Asfáltica 120 ton.	1,00	157,3073	157,30726	0,00470	0,73934
Rodillo liso tandem	1,00	33,3450	33,34500	0,00470	0,15672
Rodillo de Neumáticos 77 HP	1,00	40,9710	40,97100	0,00470	0,19256
Terminadora pavimento asfáltico	1,00	38,9025	38,90250	0,00470	0,18284
Cargadora frontal 110 HP.	1,00	32,3391	32,33909	0,00470	0,15199
Planta eléctrica 175 KVA	1,00	26,6700	26,67000	0,00470	0,12535
Herramientas manuales (5% M.O.)					0,01799
SUBTOTAL (M)					1,56679
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO-HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Engrasador o abastecedor responsable <Estr.Oc.D2>	5	3,45	17,25000	0,00470	0,08108
Op. Responsable de la planta asfáltica	1	3,64	3,64000	0,00470	0,01711
Op. Rodillo autopropulsado	2	3,64	7,28000	0,00470	0,03422
Op. Acabadora de pavimento asfáltico	1	3,64	3,64000	0,00470	0,01711
Op. de Cargadora frontal <Payloader sobre ruedas u orug	1	3,82	3,82000	0,00470	0,01795
Peón	12	3,41	40,92000	0,00470	0,19232
SUBTOTAL (N)					0,35979
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Asfalto	Lt.	7,2000	0,40000	2,88000	
Material triturado 3/8	m3.	0,0500	16,00000	0,80000	
Material triturado 3/4	m3.	0,0250	14,00000	0,35000	
Wesel <caientamiento>	Lt.	1,5000	1,09000	1,63500	
SUBTOTAL (O)					5,66500
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL (P)					
Estos precios no incluyen IVA					
Loja, 2017.					
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>					7,59158
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>					20,00% 1,51832
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>9,11</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>9,11</b>

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A

**CAPÍTULO V**  
**DISCUSIÓN Y ANÁLISIS**

## 5. Discusión y análisis.

La presente investigación, tiene como objeto identificar el impacto que ha tenido la aplicación de bases estabilizadas y micropavimentos en los plazos de ejecución, costos y calidad de construcción en los caminos terciarios (bajo tráfico), de la provincia de Loja; la mayoría de países desarrollados o en desarrollo han instituido manuales, para el diseño de vías de bajo tráfico como el caso de Chile ha desarrollado un programa para caminos rurales, en Ecuador queda a criterio de los diseñadores el tipo de estructura a construirse, por la falta de políticas que establezcan normas comunes para vías de bajo tráfico, muchas de las veces estas propuestas de diseño no se ejecutan por los limitados recursos de las entidades públicas y presupuestos onerosos que resulta de diseñar con métodos tradicionales, generando gastos en la elaboración de estudios que reposan en los archivos de las instituciones.

Según el Plan Vial Provincial de Loja, la provincia posee una red vial de 6373.56 kilómetros, de los cuales el 12.95% corresponde a la red vial estatal, el 5.28% constituye la red provincial y el 81.77% constituye la red de caminos vecinales (Tabla 2). La Entidad Pública encargada de la vialidad provincial (red provincial y vecinal), atiende 5548 kilómetros siendo una de las provincias con mayor extensión vial rural del Ecuador, y un presupuesto reducido por su baja densidad poblacional; es así que la provincia del Guayas que tiene una longitud similar de vías rurales pero con una gran densidad poblacional recibió en el 2017 un presupuesto de USD\$ 132'596.219 mientras que la provincia de Loja recibió en el 2017 un presupuesto de USD\$ 27'492.760, esto ha motivado a quien dirige la entidad provincial hasta el 2019 a buscar alternativas más económicas para pavimentar vías rurales.

La Institución provincial, en el año 2014 toma la decisión de analizar nuevas tecnologías más económicas para poder dar un adecuado mejoramiento a la red vial provincial, es así que realiza, visitas técnicas al norte de Quito, donde se han utilizado bases estabilizadas con emulsión asfáltica y micropavimento; observando que después de ocho años aun conservaban sus características estructurales y pocos sectores con desprendimientos de su capa de rodadura. En el año dos mil quince la Institución provincial decide diseñar estructuras de pavimento con estas nuevas alternativas para la zona, es decir base estabilizada y como capa de protección micropavimento; la vía Playas – Yamana – El Carmelo fue la primera vía con una longitud de 9,5 kilómetros intervenida con esta tecnología.

Según el portal de compras públicas la entidad provincial en Loja, ha invertido en vialidad desde el año 2014, cerca de USD\$ 45'131.451,39 de cuales USD\$ 22'746.456,19 se destinó a soluciones con carpeta asfáltica; USD\$ 17 325 489,42, se destinó a soluciones con bases estabilizadas con emulsión asfáltica y micropavimento y USD\$ 5' 529 505,78 han sido para soluciones con doble tratamiento superficial bituminoso (DTSB). La prefectura de Loja a través de su empresa pública VIALSUR EP, realiza el mantenimiento de la red vial rural (vías no pavimentadas: lastrados) para lo cual destina anualmente, USD\$ 5 000,00 dólares por kilómetro en mantenimiento rural vial aproximadamente.

El hormigón asfáltico o carpeta asfáltica, es el pavimento tradicional en el país, por ello los diseñadores se inclinan por este tipo de alternativa, ha demostrado durabilidad en el tiempo de diseño; en caminos rurales de bajo tráfico el espesor de una carpeta asfáltica oscila las dos pulgadas, para periodos de diseño de 10 años.

De lo investigado, el programa de caminos básicos de Chile detalla los beneficios de usar soluciones nuevas de pavimento por área de impacto y establece:

- Cambio del estándar del camino,  
Referente al confort de la capa de rodadura, su durabilidad, y el número de intervenciones para su mantenimiento.
- Reducir el deterioro del ambiente,  
Relativo a disminuir o eliminar el polvo generado, afectar o provocar el menor daño ambiental (extracción periódica de áridos)
- Impulsar la economía local.  
Concerniente a proporcionar una mejor calidad de vida a sus habitantes del sector, eliminar los efectos nocivos del polvo a los cultivos, crear condiciones propicias para el desarrollo vial.

Estos parámetros han permitido identificar los aspectos adecuados para medir el impacto que se está teniendo en la realidad de la provincia de Loja.

Con la finalidad de arribar al objeto de esta investigación, se comparan los tipos de capas de rodadura y sus respectivas estructuras bajo los criterios: inversión inicial por kilómetro, efectividad de la estructura de acuerdo a su costo anual equivalente y su facilidad para su mantenimiento.

## 5.1. Análisis de Costos.

En el capítulo IV se desarrolla la metodología para poder realizar una comparación de los costos de las diferentes capas de rodadura, por lo que fue necesario establecer parámetros similares para los diseños de pavimento todos para una vida útil de 10 años; los materiales pétreos serán extraídos de las mismas minas o canteras con la finalidad de uniformizar costos con respecto al transporte.

El transporte de los áridos se convierte en un factor importante al correlacionar los valores del costo por metro cuadrado de cada una de las soluciones analizadas en el capítulo IV, por este motivo fue necesario sumar el valor del transporte de los áridos al costo por m<sup>2</sup> de pavimento. Es importante mencionar que la provincia de Loja cuenta con pocos lugares donde se pueda extraer materiales que califiquen para la construcción de vías generando que el transporte sea uno de los principales rubros que influyen en la construcción de un proyecto vial.

El costo de cada una de las capas de las estructuras del pavimento y el transporte, como se mencionó en el capítulo IV, son en base a análisis de precios referenciales contratados por la entidad provincial a través, del Portal de Contratación Pública.

### 5.1.1. Costo por m<sup>2</sup> del paquete estructural del pavimento con diferente capa de rodadura sin incluir el transporte.

En las tablas 50, 51 y 52 se describe el análisis de costo por m<sup>2</sup> del DTSB, micro-pavimento y carpeta asfáltica, para obtener el valor por m<sup>2</sup> de la capa de base estabilizada, base y sub-base granular y transporte se tomó los valores de los análisis de precios de las tablas 46, 47, 48, 49 y se sacó su equivalencia, los valores obtenidos se detallan en la tabla 54. Los costos de la base y sub-base se los obtiene de acuerdo a los espesores del diseño para la estructura del pavimento.

Tabla 54. Costo por m<sup>2</sup> de las capas que componen la estructura del pavimento

	Costo por m <sup>2</sup>				
	Capa de Rodadura	Base	Base Estabilizada	Sub-Base	Transporte
<b>Micropavimento</b>	2,18		6,64	1,84	5,67
<b>Hormigón asfáltico</b>	7,59	3,33		2,21	7,52
<b>DTSB</b>	3,23	4,16		3,31	9,77

Fuente: El Autor

Elaborado: Lenin Sarmiento A

Los valores de la tabla 54, muestran los costos de cada una de las capas del pavimento calculado con los mismos parámetros de diseño por el método AASHTO 93 para diferentes capas de rodadura, gráficamente lo representamos en el grafico 8.



Gráfico 8. Costo por m<sup>2</sup> de las capas que componen la estructura de pavimento con diferentes capas de rodadura  
 Fuente: El Autor  
 Elaborado: Lenin Sarmiento A.

Del grafico 8 se concluye que el costo de una carpeta asfáltica de espesor 5 cm para diez años de vida útil y bajo tráfico, es 71% más elevado que un micro-pavimento, y un 57% más alto que un DTSB. Así mismo podemos establecer que un DTSB es 32% más elevado que un micro-pavimento.

Analizando por separado las diferentes capas (base, Sub-base) tenemos: el costo de una capa de base estabilizada con emulsión asfáltica sin considerar el transporte de áridos, llega a ser 49% más elevado que una base granular para carpeta asfáltica de 5 cm de espesor, y un 37% más alto que una base granular para DTSB. El costo de una capa de sub-base sin considerar el transporte de áridos, es 44% más elevado para DTSB, que una sub-base granular para micro-pavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica (gráfica 9).

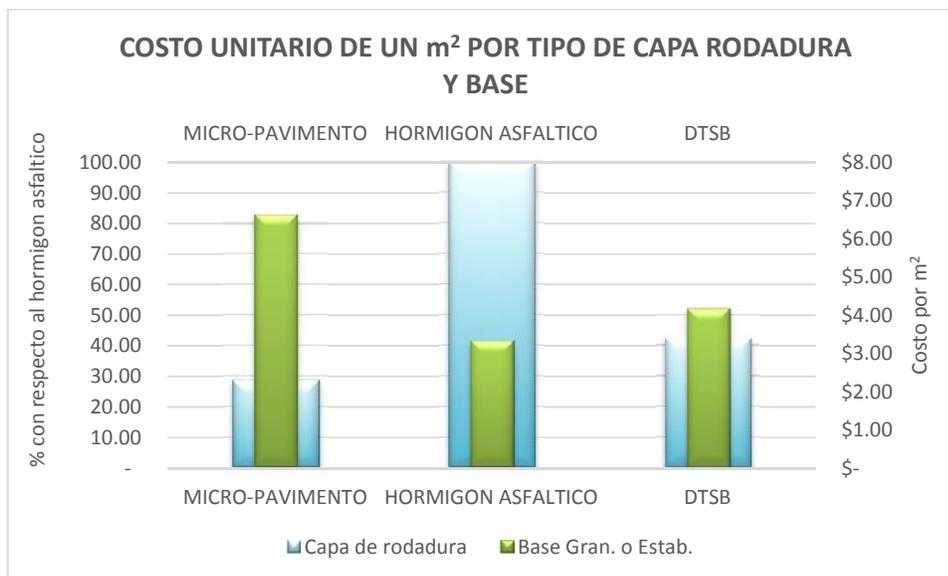


Gráfico 9. Costo por m<sup>2</sup> de las capas: capa de rodadura y base  
Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A.

En el caso de una estructura de pavimento con capa de rodadura micropavimento la base estabilizada con emulsión es el valor más significativo; en una estructura de pavimento con capa de rodadura DTSB la capa de base es la más costosa; finalmente una estructura de pavimento con capa de rodadura carpeta o hormigón asfáltico es más costoso la capa de rodadura (grafica 8).

En los diseños realizados en el capítulo IV, no se hizo combinaciones de base estabilizada con emulsión asfáltica, con carpeta asfáltica o DTSB debido a que en el país aún se utiliza asfaltos diluidos y no son prácticas constructivas comunes.

Como la estructura del pavimento se compone de la suma ascendente de sus diferentes capas, es necesario analizar el costo por m<sup>2</sup> de la estructura del pavimento; los tres diseños del capítulo IV son para un pavimento nuevo y 10 años de vida útil la diferencia radica en su costo. Sumando el costo de las capas que conforman el pavimento de un m<sup>2</sup>, se obtiene lo siguiente:

Tabla 55. Costo por m<sup>2</sup> de un pavimento con diferentes capas de rodadura

	Costo por m <sup>2</sup> (USD\$)				Total
	Capa de Rodadura	Base	Base Estabilizada	Sub-Base	
<b>Micropavimento</b>	2,18		6,64	1,84	<b>10,66</b>
<b>Hormigón asfáltico</b>	7,59	3,33		2,21	<b>13,13</b>
<b>DTSB</b>	3,23	4,16		3,31	<b>10,70</b>

Fuente: El Autor

Elaborado: Lenin Sarmiento A

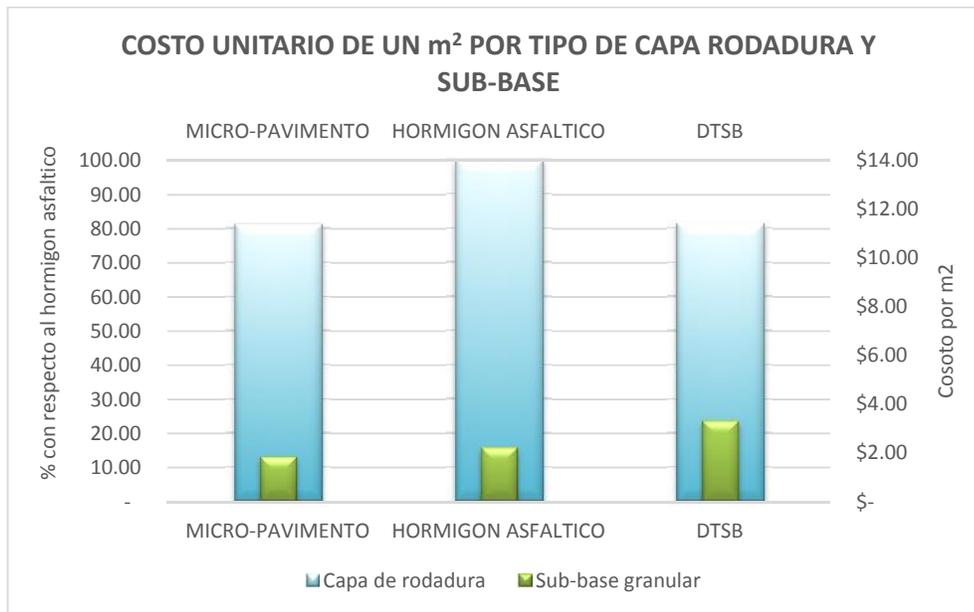


Gráfico 10. Costo por m<sup>2</sup> de la estructura de pavimento por tipo de capa de rodadura

Fuente: El Autor

Elaborado: Lenin Sarmiento A.

En la gráfica 10 observamos que el costo por m<sup>2</sup> del paquete estructural de pavimento con capa de rodadura micro-pavimento y el costo por metro cuadrado del paquete estructural de pavimento con capa de rodadura DTSB son muy similares. Con respecto al costo por metro cuadrado del paquete estructural de pavimento con capa de rodadura carpeta asfáltica es 19% más elevada que el paquete estructural de pavimento con capa de rodadura DTSB o micro-pavimento.

### 5.1.2. Costo por m<sup>2</sup> del paquete estructural del pavimento con diferente capa de rodadura más transporte.

La perspectiva cambia cuando el transporte se suma al costo por m<sup>2</sup> o al costo por Km de un proyecto vial; dependerá de que tan lejos se encuentren las fuentes de materiales pétreos a

ser utilizadas en el proyecto; la mayoría de vías no tienen minas o canteras cercanas, que califiquen.

Tabla 56. Costo por m<sup>2</sup> de un pavimento con diferentes capas de rodadura más transporte

	Costo por m <sup>2</sup> (USD\$)					Total
	Capa de Rodadura	Base	Base Estabilizada	Sub-Base	Transporte	
<b>Micropavimento</b>	2,38		8,69	3,43	5,26	<b>16,33</b>
<b>Hormigón asfáltico</b>	8,27	6,06		6,31	7,52	<b>20,65</b>
<b>DTSB</b>	3,43	7,58		9,46	9,77	<b>20,47</b>

Fuente: El Autor

Elaborado: Lenin Sarmiento A

En la gráfica 11 se representa el costo por m<sup>2</sup> de las capas que conforman la estructura del pavimento, pero esta vez incluido el transporte de los áridos, para determinar los valores del transporte se procedió a realizar el análisis de precios respectivo.

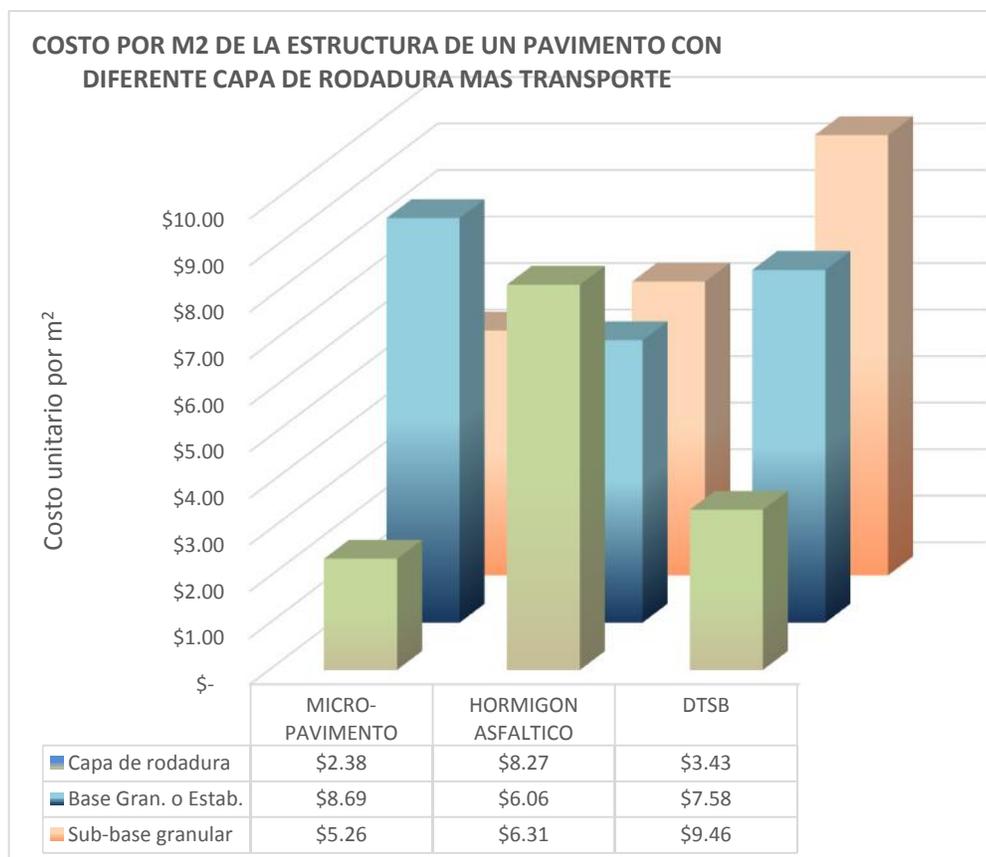


Gráfico 11. Costo por m<sup>2</sup> por tipo de capa de rodadura más transporte

Fuente: El Autor

Elaborado: Lenin Sarmiento A.

Es evidente en el gráfico 11, a mayor espesor de la capa estructural (base, Sub-base, capa de rodadura), mayor la inversión que se tendrá que hacer por el transporte de los materiales pétreos que formaran las capas de la estructura del pavimento; sigue siendo el costo por m<sup>2</sup> de carpeta asfáltica más elevado que un micropavimento o DTSB. Es importante identificar que los valores de la base y sub-base en un DTSB, son significativamente más costosos por los espesores que se necesita para soportar las cargas de diseño.

En la gráfica 12, podemos identificar la influencia del transporte en el costo por m<sup>2</sup>, al momento de elegir una determinada capa de rodadura:

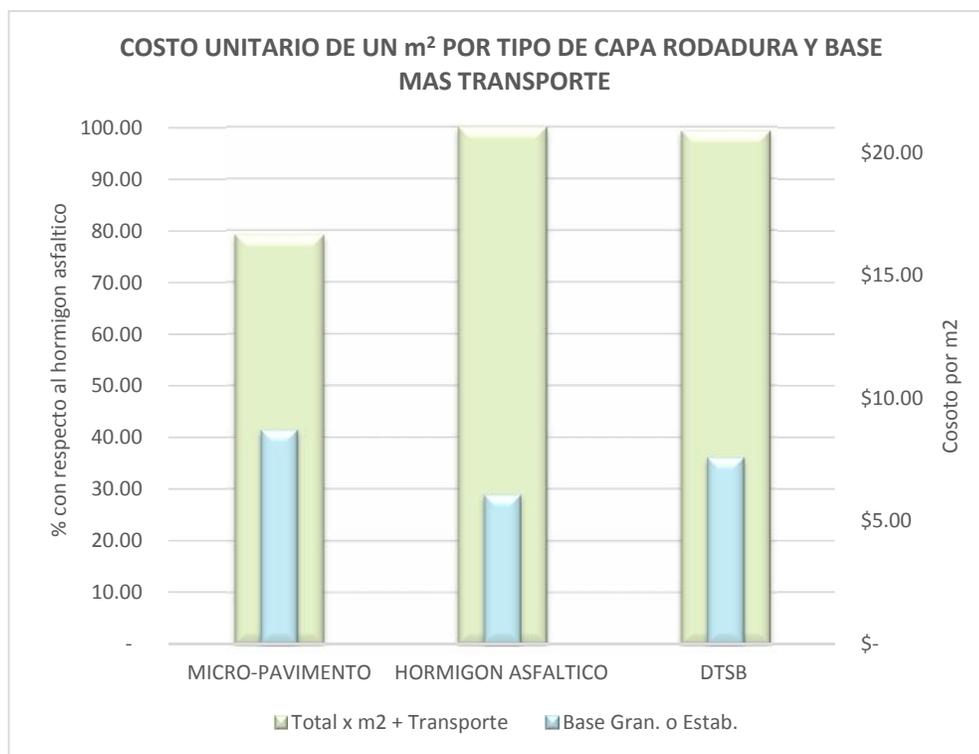


Gráfico 12. Costo por m<sup>2</sup> por tipo de capa de rodadura más transporte

Fuente: El Autor

Elaborado: Lenin Sarmiento A.

El Costo por m<sup>2</sup> de estructura de pavimento para base estabilizada con emulsión más micropavimento como capa de rodadura es 20% menor que en una estructura de pavimento con capas de rodadura como carpeta asfáltica o DTSB y bases granulares. Con la influencia del transporte resulta ser que es mucho más conveniente construir una carpeta asfáltica que un DTSB.

A medida que el espesor de la capa es mayor el costo también es mayor. El costo de la sub-base en un DTSB es 45% mas elevado que una sub-base en un micropavimento o carpeta asfáltica.

## 5.2. Costo de un Km de vía

La sección de la vía para determinar el costo por km, de cada uno de los diseños con diferente capa de rodadura es de 7,20 m de ancho con cunetas de 0,60 m a ambos lados de la vía.

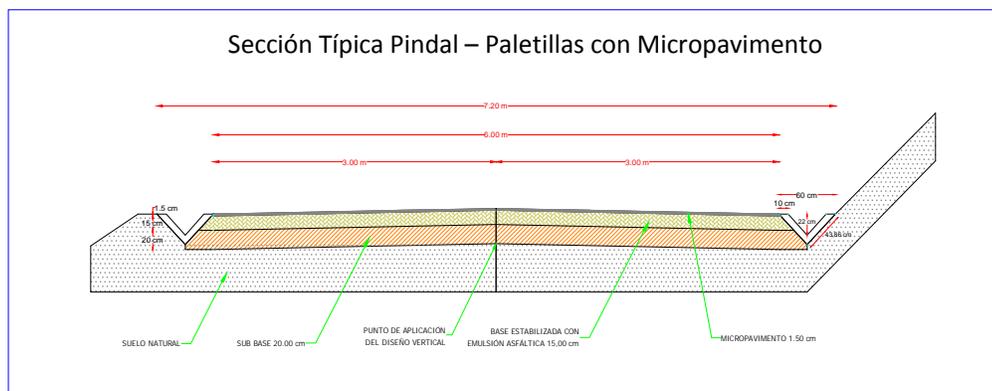


Figura 13. Sección Típica para determinar el costo por Km  
Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A.

El costo de un kilómetro de vía para una vida útil de 10 años y un TPDA menor a 300 vehículos, se detalla en la tabla 57.

Tabla 57. Costo por Km del pavimento

	<b>Costo por Km (USD\$)</b>
<b>Micropavimento</b>	117,584.00
<b>Hormigón asfáltico</b>	148,650.00
<b>DTSB</b>	147,388.00

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A

Según estos datos se verifica que es más económico la construcción de un paquete estructural con las nuevas tecnologías (base estabilizada con emulsión asfáltica y micropavimento) con un monto por kilómetro de USD\$ 117,584.00, que los métodos tradicionales (carpeta asfáltica o DTSB).

### 5.3. Costo Anual Equivalente (C.A.Eq.).

Este valor es un indicador de los costos anuales para cada solución de pavimento propuesta en esta investigación, siempre que este no requiera intervenciones o reparaciones importantes durante su vida de servicio, las ecuaciones 12 y 13 permiten obtener el valor del costo anual equivalente sin incluir transporte y las ecuaciones 14 y 15 obtenemos el valor del costo anual equivalente incluido el transporte. Las vidas de servicio fueron referenciales de acuerdo a experiencias de constructores en el país, con este criterio se podrá tomar la decisión de cual opción es la más conveniente. En la gráfica 13 se representa el costo anual equivalente.

Tabla 58. Costo anual equivalente

Capa de rodadura	Vida útil de diseño	Vida útil antes del mantenimiento.	C.A.Eq. vida útil diseño capa de rodadura	C.A.Eq. vida útil esperada capa rodadura	C.A.Eq. vida útil esperada Capa Rodadura incl. transporte	C.A.Eq. vida útil diseño estructura pavimento	C.A.Eq. vida útil esperada Estr. Pavim. Incl. transporte
Micropavimento	10	4	0,22	0,55	0,60	1,07	1,63
Hormigón asfáltico	10	5	0,76	1,52	1,65	1,31	2,06
DTSB	10	2	0,32	1,62	1,72	1,07	2,05

Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A

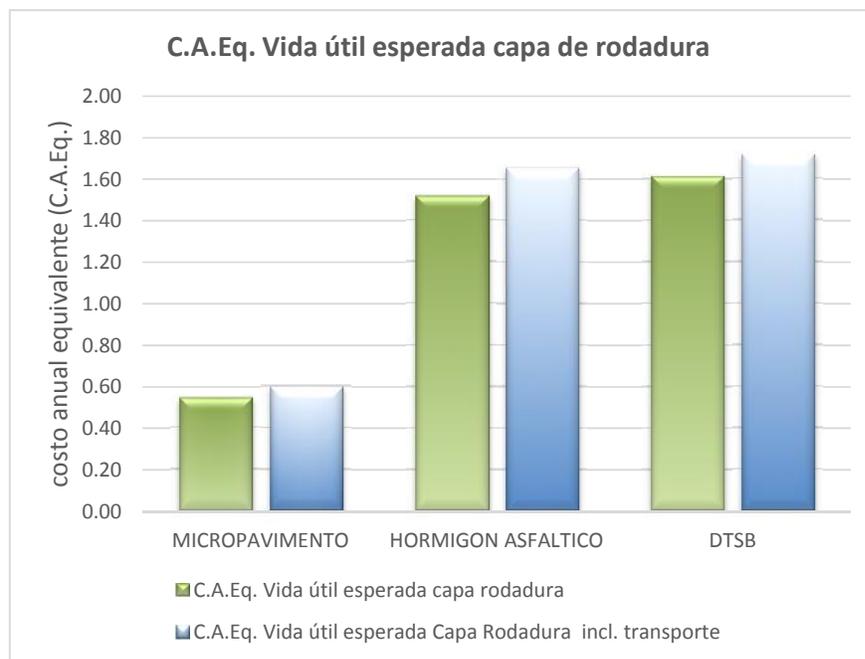


Gráfico 13. Costo anual equivalente  
Fuente: El Autor  
Elaborado: Lenin Sarmiento A.

Si solo se considerara la reposición de la capa de rodadura antes que la estructura del pavimento se deteriore, sería más conveniente un micropavimento por su costo anual equivalente, alrededor de 0.60 USD\$/año por cada m<sup>2</sup> incluido transporte. Sacando la relación del costo anual equivalente de acuerdo a la vida útil supuesta, para cada una de las capas de rodadura analizadas en la presente tesis observamos que reponer una carpeta asfáltica es mucho más conveniente al momento de realizar una inversión sobre todo publica porque su costo anual equivalente es inferior al de un DTSB.

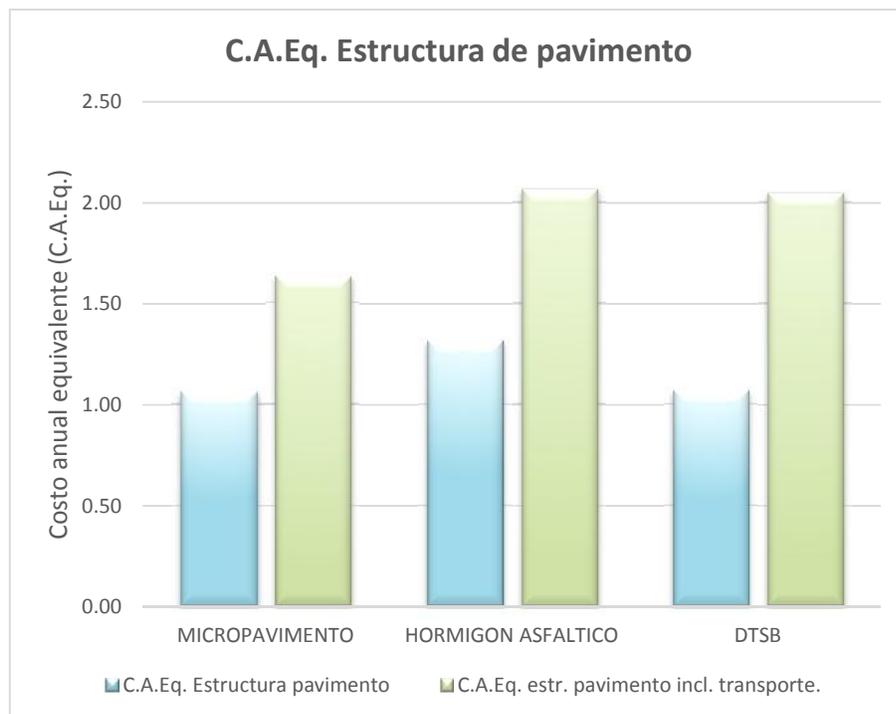


Gráfico 14. Costo anual equivalente por estructura de pavimento  
 Fuente: El Autor  
 Elaborado: Lenin Sarmiento A.

Si se considera que el pavimento durara toda su vida útil de diseño, hasta causar un deterioro total a su estructura, el micropavimento con una base estabilizada con emulsión asfáltica, sigue siendo menos costoso con respecto a una carpeta asfáltica o un DTSB, ya que su costo anual equivalente es inferior con un valor aproximado de USD\$ 1,62 USD\$/año por cada m<sup>2</sup> incluido transporte.

#### 5.4. Plazos y calidad de ejecución.

En el capítulo IV se hizo referencia a los procedimientos de ejecución necesarios para cada de una de las capas que conforman las diferentes estructuras dependiendo de la capa de

rodadura. En la figura 13 Villavicencio Figueroa (Villavicencio Figueroa, 2015), establece los tiempos de ejecución y la dificultad de ejecución de algunas capas de rodadura.

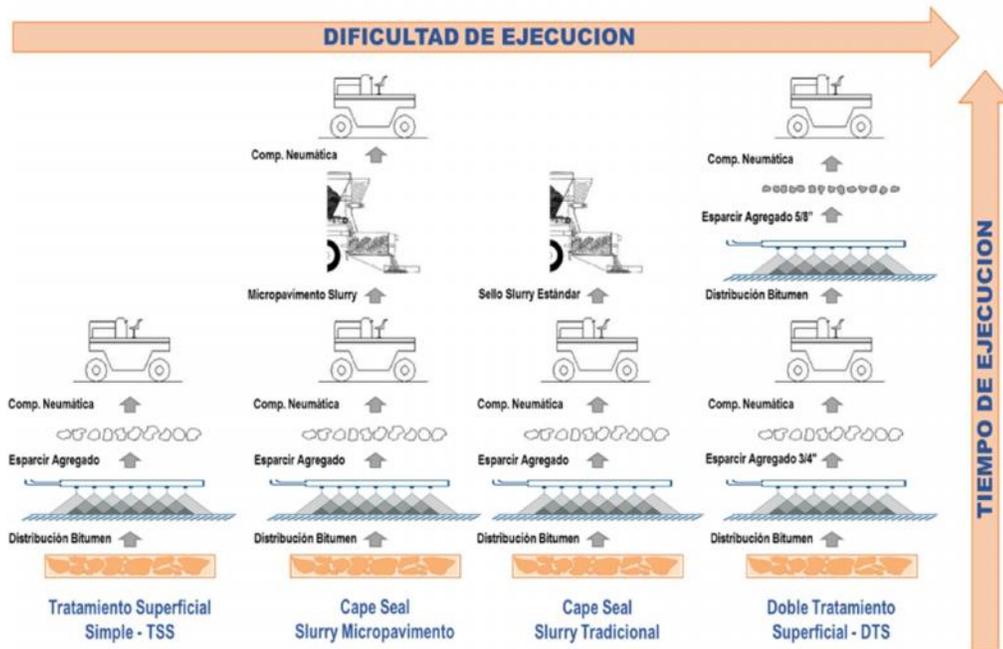


Figura 14. Tiempo de ejecución vs dificultad de ejecución  
 Fuente: Villavicencio Figueroa 2015  
 Elaborado por: Villavicencio Figueroa 2015

Uno de los objetivos de esta investigación es comprobar que usando metodologías de construcción con emulsiones asfálticas; los plazos de ejecución son más cortos, esto es evidente ya que para su ejecución se utiliza equipos tecnificados con aplicaciones in situ donde la construcción de la mezcla entre el bitumen y el agregado se ejecuta a medida que se dispone el material granular en la vía, ahorrando tiempos de ejecución en producción de hormigones asfálticos o en la colocación de grandes espesores de agregados para capas de base y sub-base en un DTSB. La calidad de construcción es un factor importante por la tecnificación de estos trabajos, permite que el error humano sea menor.

Los tiempos y calidad de ejecución dependen directamente de la logística que usa el constructor, los recursos económicos suficientes para proveer de insumos al proyecto, los equipos empleados para su ejecución, así como las condiciones climáticas.

La colocación de una base estabilizada necesita mayor tiempo de ejecución que colocar un espesor similar de base granular, esta diferencia es menor cuando los espesores de las capas son mayores a los de una capa de base estabilizada, ya que por norma se debe ir

compactando capas de 20 cm máximo, esto implica más tiempo en la ejecución de su colocación en la vía.

Los tiempos de ejecución en lo referente a capas de rodadura son notorias, los doble tratamientos son los más lentos debido a la espera entre la imprimación de la superficie y la aplicación de la primera capa de protección, entre esta y la segunda capa de aplicación que no puede hacer en el mismo día (Villavicencio Figueroa, 2015). Esta técnica constructiva necesita estos tiempos debido a que en el país aún se utiliza asfaltos diluidos. En el caso de las carpetas o hormigones asfálticos, su fabricación en planta implica que el tiempo de ejecución se incrementa tanto en producción como en transporte al sitio de obra, es necesario imprimir la superficie lo que indica que los procesos para su colocación se incrementan (mayor utilización de equipo vial), una de sus ventajas es su apertura rápida al tráfico. Los micropavimentos, son aplicaciones in situ se mezclan en la micropavimentadora y se coloca directamente sobre la base estabilizada sin necesidad de imprimaciones previas, la dificultad está en que al ser bases estabilizadas con emulsión asfálticas estas deben esperar a que rompan y libere toda el agua que sirvió para trasladar el asfalto a los agregados, este tiempo es de aproximadamente quince días. La aplicación de micropavimentos que emplean emulsiones modificadas pueden aperturar al tráfico en el orden de una hora, la apariencia de un micropavimento bien ejecutado entrega una superficie muy similar al de una carpeta asfáltica en caliente.

En la colocación de base estabilizada con emulsión o un micropavimiento, se debe utilizar equipos que permiten automatizar el proceso constructivo sin embargo esto sigue atado a la experiencia del constructor y sus operarios.

La calidad constructiva está directamente relacionada con la experiencia del constructor y a un estricto control de calidad en obra siendo necesario que la fiscalización del proceso constructivo tenga un laboratorio de suelos y pavimentos básico.

Una característica más de los micropavimentos es que son una solución constructiva amigable con el medio ambiente ya que reduce a una fracción los materiales pétreos que se emplean para la fabricación de carpetas asfálticas en caliente, el uso de energía es mínimo en comparación a las otras metodologías utilizadas en esta investigación (Villavicencio Figueroa, 2015), la International Slurry Seal Association (ISSA) indica que el proceso de micropavimentación emite solo  $\frac{1}{4}$  de los gases de efecto invernadero que emite la pavimentación con asfalto en caliente en capa delgada, con respecto a etanol, dióxido de carbono y dióxido de nitrógeno (Broughton, 2012).

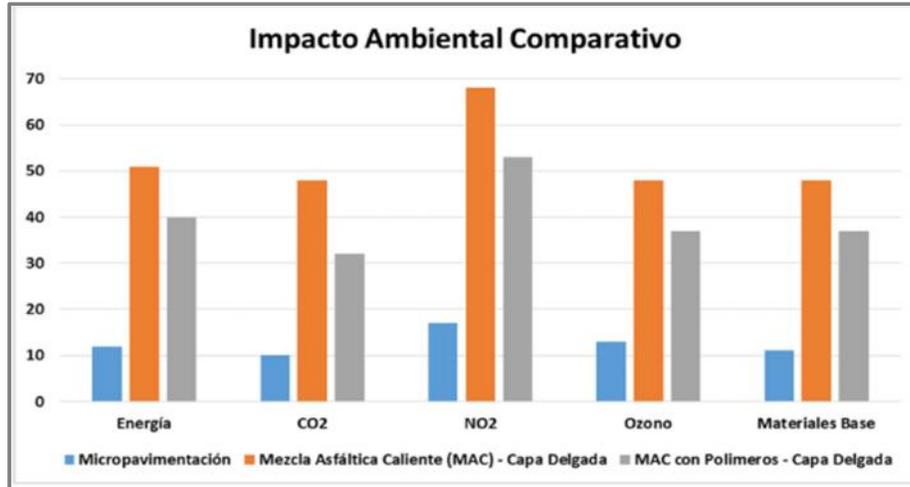


Gráfico 15. Impacto ambiental comparativo para tres tecnologías de capa de protección asfáltica (adaptado de (Takamura, 2001))

Fuente: Takamura, 2001

Elaborado: Takamura, 2001.

## CONCLUSIONES

- El estudio en ejecución, adopta un CBR de diseño de 9.4%; superior al obtenido en campo en la subrasante, generando que la estructura de pavimento, no tengan el espesor necesario para resistir las cargas solicitadas por tráfico.
- El Geogauge es un instrumento electrónico no nuclear, avalado bajo la norma ASTM D-56758, que permite obtener el módulo de resiliencia de la subrasante en condiciones de humedad real; es un método sencillo, rápido y preciso para medir y controlar en el terreno las propiedades de diseño; es más eficiente tanto en precisión como en tiempo en relación a los métodos tradicionales.
- El tráfico de la vía en análisis no supera un TPDA de 300, por lo que de acuerdo a la normativa ecuatoriana se clasifica como una carretera clase IV, considerada una vía rural.

Como resultado de la presente investigación realizamos el análisis de costo con transporte y sin transporte:

### ➤ Análisis sin incluir transporte:

- Dentro del análisis de costos se determina que una carpeta asfáltica de 5 cm de espesor diseñada para diez años con bajo tráfico, es 71% más elevado que el micropavimento y 57% más que el DTSB. El micro-pavimento es 32% menos costoso que el DTSB.
- En el caso de una base estabilizada con emulsión asfáltica el costo, es 49% más elevado que una base granular en una carpeta de 5 cm de espesor, y 37% más costoso que una base granular para el DTSB.
- En el caso de la sub-base el costo, es 44% más elevado para el DTSB, que una sub-base granular para el micro-pavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica.
- Del análisis de costos por m<sup>2</sup> podemos determinar que una estructura de pavimento con carpeta asfáltica de 5 cm de espesor y sin incluir transporte, es 19 % más elevada que una estructura con micropavimento o DTSB.
- El costo por m<sup>2</sup> de ejecución para DTSB y micropavimento con base estabilizada prácticamente es el mismo.

### ➤ Análisis con transporte:

- Con la influencia del transporte resulta ser que es mucho más conveniente construir una carpeta asfáltica que un DTSB.
- Finalmente se puede determinar que el costo de una estructura de pavimento con carpeta asfáltica o DTSB incluido el transporte, es 20% más elevado que el micropavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica.
- Dentro del análisis de costos por kilómetro se concluye que la estructura de pavimento con nuevas tecnologías (base estabilizada con emulsión y micropavimento), es 20% menor que las tecnologías tradicionales (carpeta asfáltica o DTSB), en una sección de vía de 7,20 m de ancho, incluido cunetas de 0,60 m a ambos lados de la vía.

Tomando en cuenta el costo anual equivalente (C.A.Eq.) se concluye:

- Un micropavimento, es la capa de rodadura más conveniente en caso de reposición antes que la estructura del pavimento se deteriore.
- Reponer una carpeta asfáltica como capa de rodadura es mas conveniente económicamente que el DTSB, antes que la estructura de pavimento se deteriore.
- El micropavimento y base estabilizada con emulsión asfáltica, se considera la alternativa más económica con respecto a la carpeta asfáltica o DTSB, si se considera que la estructura del pavimento es de 10 años.
- Construir micropavimentos y base estabilizada con emulsión asfáltica, permite disminuir los plazos de ejecución; principalmente por la utilización de equipos tecnificados que permiten realizar aplicaciones in situ, esto se refleja en el costo de un kilómetro de vía.
- Un impacto positivo de este tipo de técnicas (micropavimentos y base estabilizada con emulsión asfáltica), es que mejora la calidad de la construcción, gracias a su tecnificación que reduce el riesgo de mala calidad por la deficiente mano de obra.
- Las mezclas asfálticas en frío con emulsión asfáltica y agregados pétreos de la zona, generan impacto en la construcción de pavimentos para vías rurales en la provincia de Loja, desde el punto de vista económico, ambiental y social. Económico porque su costo anual equivalente es inferior al de una carpeta asfáltica o DTSB. Ambiental porque reduce a una fracción los materiales pétreos, el uso de energía es mínimo,

emitiendo tan solo  $\frac{1}{4}$  de los gases de efecto invernadero que emite la pavimentación con asfaltos diluidos. Social por brindar un mayor servicio a sus habitantes.

## RECOMENDACIONES

- Existe alto riesgo de que las dosificaciones teóricas no se apliquen en la ejecución práctica, pudiendo generar problemas en la calidad final del sello o la capa de base con emulsión, por lo que se debe mantener un laboratorio en obra que vaya haciendo cumplir, las normas de construcción.
- Los equipos modernos corrigen los espacios para el error mediante la automatización, sin embargo, como en todo proceso constructivo, la palabra final la tiene la experiencia del constructor y sus operarios, es necesario mantenerlos en capacitaciones constantes sobre la evolución de los equipos, y aplicación de nuevas tecnologías.
- Se recomienda que la Entidades Públicas, desarrollen programas de mantenimiento vial que permitan la conservación de la estructura del pavimento una vez concluida su construcción, así se evita que los esfuerzos de tránsito produzcan deterioro a la calzada y por ende a la estructura.
- Es recomendable construir tramos de prueba, puesto que estos permiten verificar los diseños, rata de aplicación y calibración de equipos en condiciones reales.
- Es necesario que las emulsiones asfálticas se difundan y se adopten culturalmente con la finalidad de sustituir los asfaltos diluidos, ya que son económica y ambientalmente más amigables.
- En Ecuador, queda a criterio del diseñador el tipo de estructura a construirse, muchas de las veces estas propuestas no son posibles de ejecutar por el presupuesto elevado que resulta en vías de bajo tráfico y los limitados recursos económicos de las entidades públicas; por lo es necesario que se establezcan normas comunes para vías de bajo tráfico como es el caso de Chile.

## BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (2002). *NORMA DE DISEÑO AASHTO 2002*.

ASTM – D6758. (2014). Standard Test Method for Measuring Stiffness and Apparent Modulus of Soil and Soil- Aggregate In-Place by Electro-Mechanical Method 1, *i*, 1–5.

BONETT SOLANO, G. E. (2014). GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VIA EN PAVIMENTO FLEXIBLE GABRIEL, 36.

Broughton, B. (2012). 30 Years of Microsurfacing: A review. San Marcos, TX.

Coyago Vega, G. M. (2015). Evaluación de un tratamiento superficial bituminoso con emulsión asfáltica como alternativa de mantenimiento en vías arteriales del Ecuador. JOUR.

Gerardo Botasso, Julián Rivera, Oscar Rebollo, E. P. C. (2012). FILLER GRANITICO PROVENIENTE DE LAVADO ARENAS DE TRITURACION, ANALISIS DE PREFACTIBILIDAD DE USO EN MEZCLAS ASFALTICAS.

Gobierno Provincial de Loja. (2015a). *ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA VÍA PINDAL-MILAGROS-PALETILLA*.

Gobierno Provincial de Loja. (2015b). *Informe Final Tomo 1 - Pindal-Milagros-Paletillas-EMULSIÓN*.

Ley de Caminos del Ecuador.

Manual de Especificaciones MOP – 001 – F 2002. Construcción de Caminos y Puentes del Ministerio de Obras Publicas. (2002). Retrieved from [http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013\\_ConcursoPublico\\_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf](http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf)

Reglamento a la Ley de caminos del Ecuador

Sanchez, F. (2005). Curso diseño de pavimentos Escuela colombiana de ingeniería., 71.

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. JOUR.

Villavicencio Figueroa, C. M. (2015). Impacto de la aplicación de nuevas tecnologías de sellado con capa de protección asfáltica, en los plazos, costos y calidad de construcción de caminos secundarios en Chile. JOUR.

**ANEXOS**

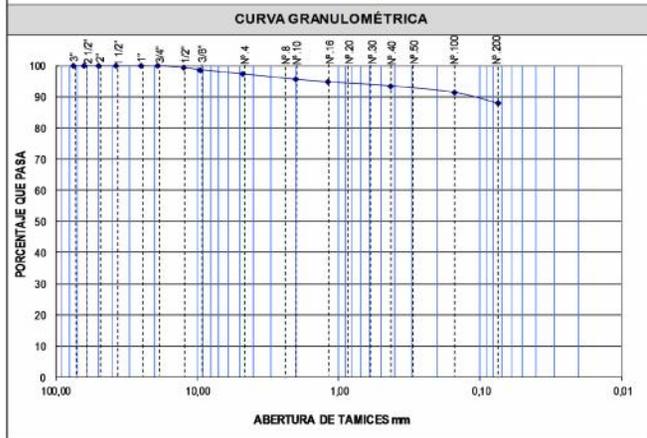


## UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA VÍA PINDÁL – MILAGROS – PALETILLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.		
<b>MUESTRA</b>	ABS: 0+000 L.D; Profundidad: 0,50 m; COLOR CAFÉ		<b>FECHA</b>
<b>SOLICITA</b>	ING. LENIN SARMIENTO ÁLVAREZ	<b>UBICACIÓN</b>	PALETILLAS, CANTON ZAPOTILLO, PROV. DE LOJA
			5 de diciembre de 2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	9	1	99	
9,5	3/8"	18	1	99	
4,750	Nº.4	36	3	97	
	Pasa Nº.4	1304	97	3	
2,360	Nº.8				
2,000	Nº.10	4	2	98	
1,180	Nº.16	6	3	96	
0,850	Nº.20				
0,600	Nº.30				
0,425	Nº.40	9	4	94	
0,300	Nº.50				
0,150	Nº.100	14	6	91	
0,075	Nº.200	22	9	88,0	
	Pasa Nº.200	209	88,0		
	<b>TOTAL</b>	<b>1340</b>			

Peso Total de Lavado: 231,00  
 Peso Total después de Lavado: 22,00

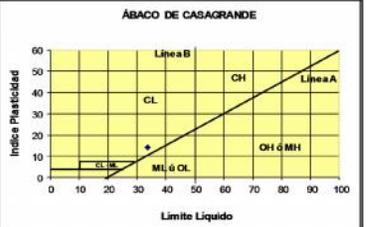


CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO CAP. + SUELO HUM.	PESO CAP. + SUELO SECO	PESO DE CÁPSULA	CONTENIDO DE HUMEDAD
68,63	61,94	16,91	<b>14,86</b>

LÍMITES DE CONSISTENCIA				
LÍMITE LÍQUIDO				
PESO CÁPSULA	16,99	16,73	17,07	17,06
PESO DE CÁPSULA + SUELO HÚMED	30,20	30,28	30,13	30,26
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	26,79	26,85	26,86	26,99
Nº DE GOLPES	14	22	30	36
PROMEDIO	<b>33,75</b>			

LÍMITE PLÁSTICO			
PESO CÁPSULA	6,36	6,27	6,22
PESO CÁPSULA + SUELO HUME	7,82	7,79	7,83
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	7,58	7,54	7,57
PROMEDIO	<b>19,54</b>		

CLASIFICACIÓN	
Índice de Plasticidad	<b>14,21</b>
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	
Coefficiente de Uniformidad	
Grado de Curvatura	
Índice de Grupo	<b>10</b>
Clasificación S.U.C.S.	<b>Arcilla media plasticidad CL</b>
Clasificación AASHTO	<b>A-6 Suelo arcilloso</b>



Ing. Lenin Sarmiento  
Elaborado por

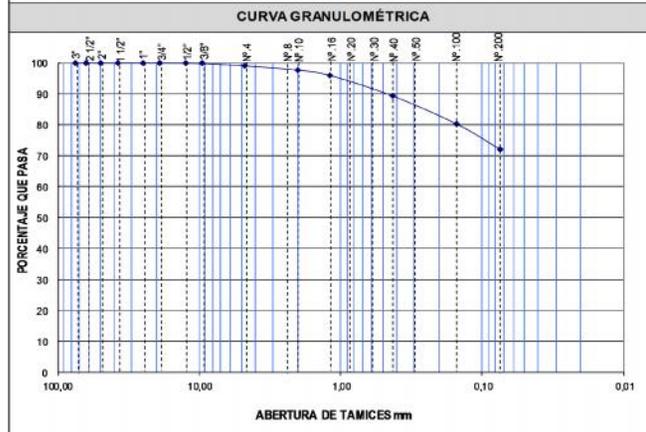


## UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA VÍA PINDÁL – MILAGROS – PALETILLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.		
<b>MUESTRA</b>	ABS: 0+500 L.I; Profundidad: 0,50 m; COLOR CAFÉ		<b>FECHA</b>
<b>SOLICITA</b>	ING. LENIN SARMIENTO ÁLVAREZ	<b>UBICACIÓN</b>	PALETILLAS, CANTON ZAPOTILLO, PROV. DE LOJA
			5 de diciembre de 2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	1	0	100	
9,5	3/8"	3	0	100	
4,750	Nº 4	19	1	99	
	Pasa Nº 4	2087	99	1	
2,360	Nº 8				
2,000	Nº 10	4	1	98	
1,180	Nº 15	9	3	96	
0,850	Nº 20				
0,600	Nº 30				
0,425	Nº 40	28	10	89	
0,300	Nº 50				
0,150	Nº 100	54	19	80	
0,075	Nº 200	77	27	72,1	
	Pasa Nº 200	206	72,1		
<b>TOTAL</b>		<b>2106</b>			

Peso Total de Lavado: 283,00  
 Peso Total después de Lavado: 77,00

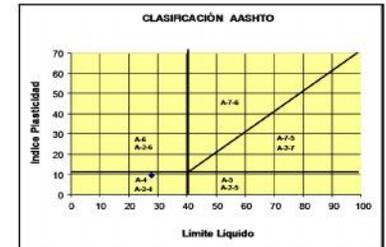
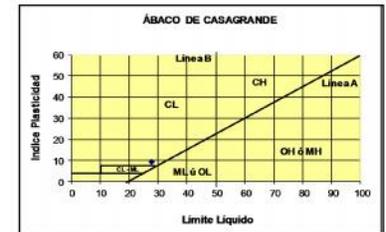
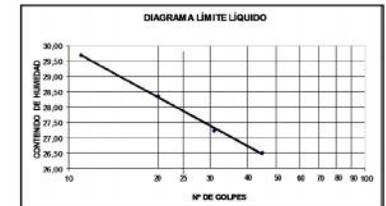


CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO CAP. + SUELO HUM.	PESO CAP. + SUELO SECO	PESO DE CÁPSULA	CONTENIDO DE HUMEDAD
97,89	94,37	17,25	<b>4,56</b>

LÍMITES DE CONSISTENCIA				
LÍMITE LÍQUIDO				
PESO CÁPSULA	17,17	17,24	17,07	17,69
PESO DE CÁPSULA + SUELO HÚMED	30,27	30,32	30,34	30,38
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	27,27	27,43	27,50	27,72
Nº DE GOLPES	11	20	31	45
<b>PROMEDIO</b>	<b>27,80</b>			

LÍMITE PLÁSTICO			
PESO CÁPSULA	6,35	6,39	6,28
PESO CÁPSULA + SUELO HUMED	8,12	8,14	8,12
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	7,84	7,87	7,83
<b>PROMEDIO</b>	<b>18,58</b>		

CLASIFICACIÓN	
Índice de Plasticidad	<b>9,22</b>
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	
Coefficiente de Uniformidad	
Grado de Curvatura	
Índice de Grupo	<b>7</b>
Clasificación S.U.C.S.	<b>Arcilla baja plasticidad con arena CL</b>
Clasificación AASHTO	<b>A-4 Suelo limoso</b>



Ing. Lenin Sarmiento  
Elaborado por

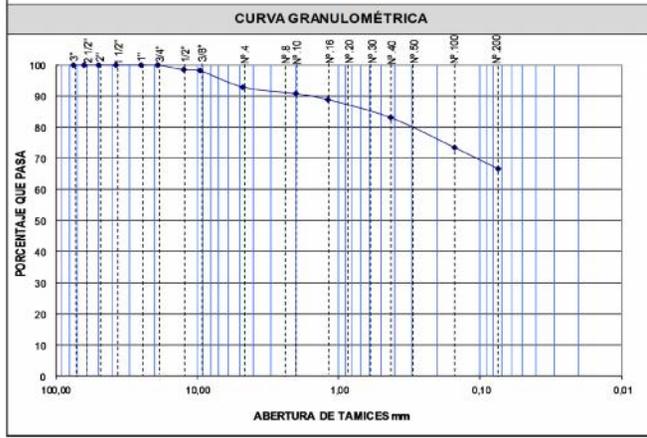
# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA



<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA VÍA PINDÁL – MILAGROS – PALETILLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.		
<b>MUESTRA</b>	ABS: 1+000 L.D; Profundidad: 0,50 m; COLOR CAFÉ		<b>FECHA</b>
<b>SOLICITA</b>	ING. LENIN SARMIENTO ÁLVAREZ	<b>UBICACIÓN</b>	PALETILLAS, CANTON ZAPOTILLO, PROV. DE LOJA
			5 de diciembre de 2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	36	2	98	
9,5	3/8"	45	2	98	
4,750	Nº.4	170	7	93	
	Pasa Nº.4	2224	93	7	
2,360	Nº.8				
2,000	Nº.10	10	2	91	
1,180	Nº.16	19	4	89	
0,850	Nº.20				
0,600	Nº.30				
0,425	Nº.40	46	10	83	
0,300	Nº.50				
0,150	Nº.100	91	20	73	
0,075	Nº.200	122	26	66,7	
	Pasa Nº.200	310	66,7		
	<b>TOTAL</b>	<b>2394</b>			

Peso Total de Lavado: 432,00  
 Peso Total después de Lavado: 122,00

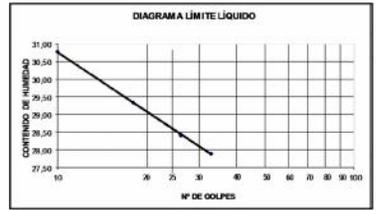


CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO CAP. + SUELO HUM.	PESO CAP. + SUELO SECO	PESO DE CÁPSULA	CONTENIDO DE HUMEDAD
81,95	77,78	16,73	<b>6,83</b>

LÍMITES DE CONSISTENCIA				
LÍMITE LÍQUIDO				
PESO CÁPSULA	17,03	16,91	17,19	17,83
PESO DE CÁPSULA + SUELO HÚMED	30,37	30,27	30,34	30,30
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	27,23	27,24	27,43	27,58
Nº DE GOLPES	10	18	26	33
<b>PROMEDIO</b>	<b>28,60</b>			

LÍMITE PLÁSTICO			
PESO CÁPSULA	6,20	6,44	6,39
PESO CÁPSULA + SUELO HUMED	8,14	8,12	8,13
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	7,87	7,88	7,89
<b>PROMEDIO</b>	<b>16,28</b>		

CLASIFICACIÓN	
Índice de Plasticidad	<b>12,32</b>
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	
Coefficiente de Uniformidad	
Grado de Curvatura	
Índice de Grupo	<b>7</b>
Clasificación S.U.C.S.	<b>Arcilla baja plasticidad arenosa CL</b>
Clasificación AASHTO	<b>A-6 Suelo arcilloso</b>



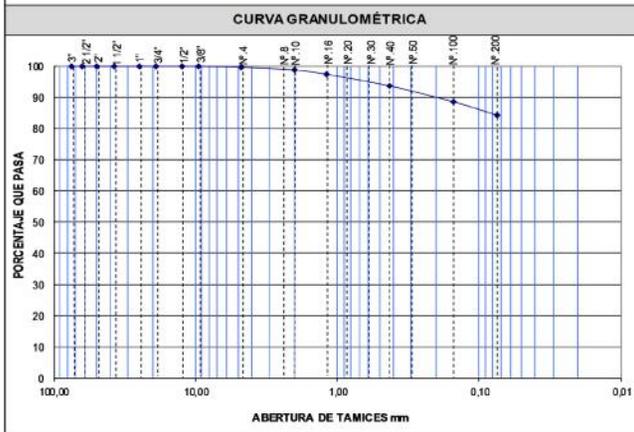
Ing. Lenin Sarmiento  
Elaborado por



## UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA VÍA PINDÁL – MILAGROS – PALETILLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.		
<b>MUESTRA</b>	ABS: 1+500 L.I; Profundidad: 0,50 m; COLOR CAFÉ		<b>FECHA</b>
<b>SOLICITA</b>	ING. LENIN SARMIENTO ÁLVAREZ	<b>UBICACIÓN</b>	PALETILLAS, CANTON ZAPOTILLO, PROV. DE LOJA 5 de diciembre de 2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	0	0	100	
9,5	3/8"	0	0	100	
4,750	Nº.4	5	0	100	
	Pasa Nº.4	2001	100	0	
2,360	Nº.8				
2,000	Nº.10	2	1	99	
1,180	Nº.16	5	2	97	
0,850	Nº.20				
0,600	Nº.30				
0,425	Nº.40	13	6	94	
0,300	Nº.60				
0,150	Nº.100	24	11	88	
0,075	Nº.200	33	16	84,2	
	Pasa Nº.200	179	84,2		
	<b>TOTAL</b>	<b>2096</b>			
Peso Total de Lavado:			212,00		
Peso Total después de Lavado:			33,00		

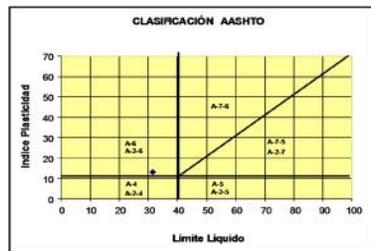
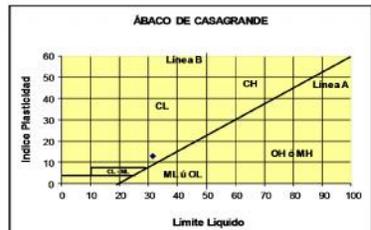
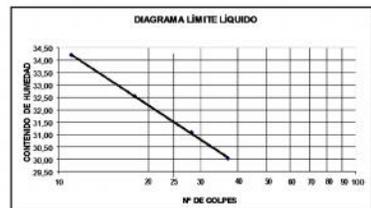


CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO CAP. + SUELO HUM.	PESO CAP. + SUELO SECO	PESO DE CÁPSULA	CONTENIDO DE HUMEDAD
88,24	80,51	18,32	12,43

LÍMITES DE CONSISTENCIA				
LÍMITE LÍQUIDO				
PESO CÁPSULA	17,68	18,05	17,90	17,96
PESO DE CÁPSULA + SUELO HÚMED	30,35	30,31	30,38	30,30
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	27,12	27,30	27,42	27,45
Nº DE GOLPES	11	18	28	37
<b>PROMEDIO</b>	<b>31,50</b>			

LÍMITE PLÁSTICO			
PESO CÁPSULA	6,17	6,44	6,37
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMED	8,14	8,27	8,15
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	7,83	7,98	7,87
<b>PROMEDIO</b>	<b>18,72</b>		

CLASIFICACIÓN	
Índice de Plasticidad	12,78
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	
Coefficiente de Uniformidad	
Grado de Curvatura	
Índice de Grupo	9
Clasificación S.U.C.S.	<b>Arcilla media plasticidad con arena CL</b>
Clasificación AASHTO	<b>A-6 Suelo arcilloso</b>



Ing. Lenin Sarmiento  
Elaborado por

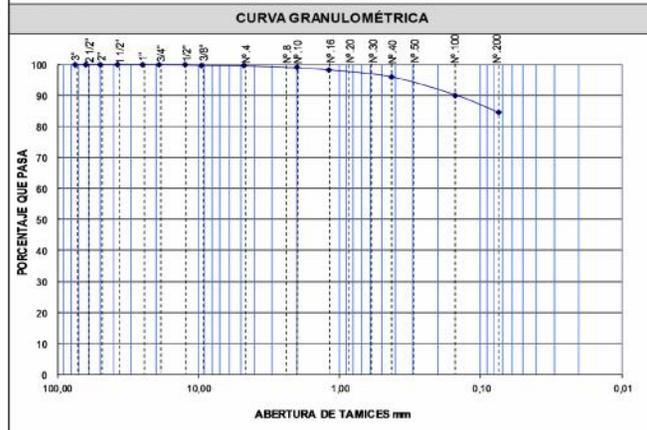


# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA



<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA VÍA PINDÁL – MILAGROS – PALETILLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.		
<b>MUESTRA</b>	ABS: 3+000 L.D.; Profundidad: 0,50 m; COLOR CAFÉ		<b>FECHA</b>
<b>SOLICITA</b>	ING. LENIN SARMIENTO ÁLVAREZ	<b>UBICACIÓN</b>	PALETILLAS, CANTON ZAPOTILLO, PROV. DE LOJA
			5 de diciembre de 2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	2	0	100	
9,5	3/8"	5	0	100	
4,750	Nº.4	9	0	100	
	Pasa Nº.4	2405	100	0	
2,360	Nº.8				
2,000	Nº.10	2	1	99	
1,180	Nº.16	4	1	98	
0,850	Nº.20				
0,600	Nº.30				
0,425	Nº.40	11	4	96	
0,300	Nº.50				
0,150	Nº.100	29	10	90	
0,075	Nº.200	46	15	84,5	
	Pasa Nº.200	257	84,5		
	<b>TOTAL</b>	<b>2414</b>			
	Peso Total de Lavado:	303,00			
	Peso Total después de Lavado:	46,00			

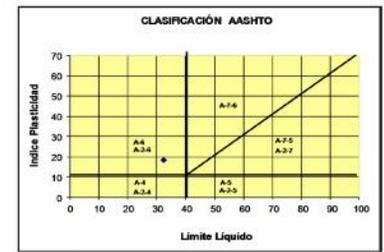


CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO CAP. + SUELO HUM.	PESO CAP.+ SUELO SECO	PESO DE CÁPSULA	CONTENIDO DE HUMEDAD
77,89	71,61	17,08	11,52

LÍMITES DE CONSISTENCIA				
LÍMITE LÍQUIDO				
PESO CÁPSULA	18,15	18,18	17,92	18,51
PESO DE CÁPSULA + SUELO HÚMED	30,35	30,28	30,24	30,29
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	27,27	27,29	27,25	27,48
Nº DE GOLPES	13	19	28	40
PROMEDIO	32,35			

LÍMITE PLÁSTICO			
PESO CÁPSULA	6,35	6,27	6,24
PESO CÁPSULA + SUELO HUME	8,03	8,03	8,02
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	7,82	7,81	7,80
PROMEDIO	14,23		

CLASIFICACIÓN	
Índice de Plasticidad	18,12
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	
Coefficiente de Uniformidad	
Grado de Curvatura	
Índice de Grupo	11
Clasificación S.U.C.S.	Arcilla media plasticidad con arena CL
Clasificación AASHTO	A-6 Suelo arcilloso



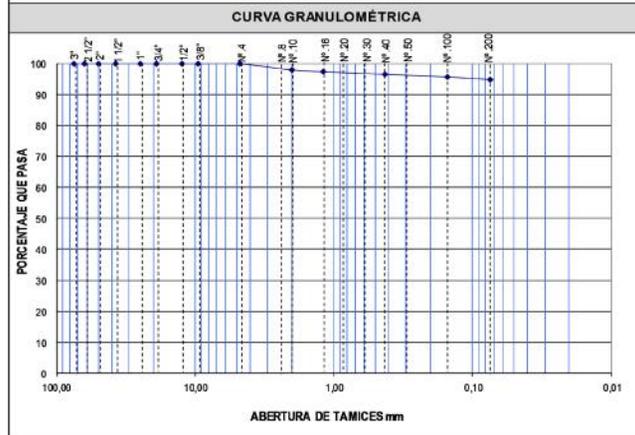
Ing. Lenin Sarmiento  
Elaborado por



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA VÍA PINDÁL – MILAGROS – PALETILLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.		
<b>MUESTRA</b>	ABS: 4+000 L.D.; Profundidad: 0,50 m; COLOR CAFÉ		<b>FECHA</b>
<b>SOLICITA</b>	ING. LENIN SARMIENTO ÁLVAREZ	<b>UBICACIÓN</b>	PALETILLAS, CANTON ZAPOTILLO, PROV. DE LOJA
			5 de diciembre de 2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	0	0	100	
9,5	3/8"	1	0	100	
4,750	Nº.4	2	0	100	
	Pasa Nº.4	2482	100	0	
2,360	Nº.8				
2,000	Nº.10	7	2	98	
1,180	Nº.16	9	3	97	
0,850	Nº.20				
0,600	Nº.30				
0,425	Nº.40	12	3	96	
0,300	Nº.50				
0,150	Nº.100	15	4	96	
0,075	Nº.200	18	5	94,7	
	Pasa Nº.200	329	94,7		
	<b>TOTAL</b>	<b>2484</b>			
	Peso Total de Lavado:		347,00		
	Peso Total después de Lavado:		18,00		

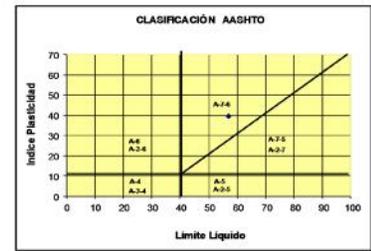


CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO CAP. + SUELO HUM.	PESO CAP. + SUELO SECO	PESO DE CÁPSULA	CONTENIDO DE HUMEDAD
64,49	58,08	17,04	15,62

LÍMITES DE CONSISTENCIA				
LÍMITE LÍQUIDO				
PESO CÁPSULA	16,83	17,02	16,93	17,17
PESO DE CÁPSULA + SUELO HÚMED	30,25	30,31	30,24	30,28
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	25,19	25,42	25,45	25,69
N° DE GOLPES	16	21	27	37
PROMEDIO	57,00			

LÍMITE PLÁSTICO			
PESO CÁPSULA	6,37	6,16	6,44
PESO CÁPSULA + SUELO HUME	7,79	7,76	7,78
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	7,58	7,52	7,58
PROMEDIO	17,52		

CLASIFICACIÓN	
Indice de Plasticidad	39,48
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	
Coefficiente de Uniformidad	
Grado de Curvatura	
Indice de Grupo	19
Clasificación S.U.C.S.	Arcilla alta plasticidad CH
Clasificación AASHTO	A-7-6 Suelo arcilloso



Ing. Lenin Sarmiento  
Elaborado por