



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**Disertación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil**

**Diseño de la Rehabilitación del pavimento flexible en el tramo  
"Guayllabamba - El Pisque"**

**Autora: Mónica Victoria Dávila Ruiz**

**Director: Ing. Hugo Bonifaz**

**Quito, noviembre de 2012**

## DECLARACIÓN

Yo, Mónica Victoria Dávila Ruiz, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y, que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, sin restricción de ningún género o especial.



Firma

## CERTIFICACIÓN

Yo, Hugo Bonifaz, certifico que conozco a la autora del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto en su originalidad, autenticidad, como en su contenido.



Firma

## **AGRADECIMIENTOS**

A:

*Dios, por sostenerme en cada minuto de mi vida, por haberme dado siempre fortaleza para seguir adelante en la consecución de esta meta.*

*Universidad Internacional del Ecuador, a la Escuela de Ingeniería Civil, por haberme brindado la oportunidad de continuar con mis estudios, al contingente de excelentes maestros, quienes con sus conocimientos y experiencias nos han formado en este camino del saber.*

*De igual forma agradezco a los compañeros de aula, a los familiares y amigos cuyo apoyo y colaboración desinteresada en el día a día ha permitido hacer realidad esta Ingeniería Civil.*

## **ACTO QUE DEDICO**

A:

*Dios, por ser el primer gestor de esta meta.*

*Mi hija Adriana Salomé por ser mi motivación principal para superarme día tras día y por todo el tiempo que le arrebaté para hacer posible esta Ingeniería Civil.*

*Mi Madre, por ser partícipe del sacrificio diario y por ser mi apoyo incondicional.*

## Índice General

DECLARACIÓN .....	ii
CERTIFICACIÓN .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ACTO QUE DEDICO.....	v
Índice General .....	vi
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Tablas .....	xiii
Índice de Anexos.....	xv
Resumen .....	xvi
Abstract.....	xvii
Introducción.....	xviii
CAPITULO I.....	1
1 EL PROBLEMA.....	1
1.1 EL OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.4 SISTEMATIZACIÓN .....	1
1.5 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICO.....	2
1.5.1 Objetivo General .....	2
1.5.2 Objetivos Específicos .....	2
1.6 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.6.1 Justificación Teórica .....	2
1.6.2 Justificación Práctica .....	3
1.6.3 Justificación Relevancia Social.....	3
1.7 IDEA A DEFENDER .....	4
1.7.1 Idea a defender .....	4

1.7.2	Variable Independiente .....	4
1.7.3	Variable Dependiente .....	4
CAPITULO II .....		5
2	EL MARCO REFERENCIAL .....	5
2.1	MARCO REFERENCIAL.....	5
2.1.1	Ubicación Geográfica .....	5
2.1.2	Coordenadas Geográficas .....	6
2.1.3	Importancia del tramo vial.....	6
2.1.4	Topografía e Hidrografía del sector .....	7
2.1.5	Altitud .....	7
2.1.6	Aspectos climáticos .....	7
2.1.7	Precipitación .....	8
2.2	MARCO TEORICO .....	9
2.2.1	Reciclado de Pavimentos Flexibles .....	10
2.2.1.1	Campos de Aplicación del Reciclaje .....	11
2.2.1.2	Tipos de Reciclaje .....	11
2.2.1.3	Ventajas de las Técnicas de Reciclado .....	12
2.2.1.4	Agentes de reciclaje .....	13
2.2.1.5	Diseño de mezclas asfálticas recicladas en frío (Método del Instituto del Asfalto) .....	13
2.2.1.6	Diseño de mezclas asfálticas recicladas en caliente (Método del Instituto del Asfalto) .....	18
2.2.2	Diseño de sobre capas asfálticas en pavimentos flexibles a partir del deflectómetro .....	21
2.2.2.1	Diseño de sobrecapas propuesto por el Instituto del Asfalto.....	21
2.2.2.2	Diseño de repapeos por el método de AASHTO .....	22
2.2.2.3	Diseño y construcción de pavimento existentes .....	23
2.2.2.4	Análisis del tránsito .....	24
2.2.2.5	Inspección de las condiciones de la capa de rodadura .....	24
2.2.2.6	Prueba de deflexiones y su análisis .....	25

2.2.2.7	Ensayos de Campo.....	25
2.2.2.8	Determinación del número estructural requerido para el tránsito futuro ( $S_n$ ) .....	26
2.2.2.9	Determinación del número estructural efectivo para pavimentos existentes $SN_{eff}$ .....	27
2.2.2.10	Determinación del número estructural requerido .....	28
2.2.2.11	Determinación del coeficiente estructural para recapeo de concreto asfáltico .....	29
2.2.2.12	Determinación de espesores de sobrecapas.....	30
2.3	MARCO CONCEPTUAL .....	31
2.3.1	Definición de términos .....	31
2.4	FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	36
CAPITULO III.....		37
3	EVALUACION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE .....	37
3.1	Inspección Visual Inicial .....	37
3.2	Inspección Visual Detallada .....	44
3.3	Medida de deflexiones.....	48
3.3.1	Pruebas en campo.....	48
3.3.2	Medida de la temperatura del pavimento.....	51
3.3.3	Corrección de temperatura del pavimento .....	53
3.3.3.1	Determinar la temperatura promedio de la capa asfáltica:.....	53
3.3.3.2	Determinar el factor de corrección por temperatura:.....	54
3.3.4	Evaluación Deflectométrica Cualitativa .....	56
3.4	Ensayos de Laboratorio .....	60
3.4.1	Ejecución de excavación a cielo abierto en cada Km.....	60
3.4.2	Toma de densidades en cada una de las capas de la estructura del pavimento.....	61
3.4.3	Toma de muestras integrales de cada capa que conforma el pavimento.....	61
3.4.4	Identificación de espesores de las capas del pavimento .....	63



3.4.5	Trabajo de laboratorio .....	63
3.4.5.1	Ensayos de Clasificación SUCS .....	63
3.4.5.2	Ensayos de CBR para base y subrasante .....	64
3.4.5.3	Equivalente de Arena .....	64
3.4.5.4	Ensayos de Granulometría de la Carpeta Asfáltica .....	65
3.4.5.5	Contenido Orgánico .....	65
3.4.5.6	Resumen de Ensayos .....	65
3.5	Análisis de los resultados y de la situación actual .....	65
3.6	Determinación de la Alternativa de Rehabilitación .....	66
CAPITULO IV .....		68
4	PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE .....	68
4.1	ANÁLISIS DEL TRÁNSITO .....	68
4.1.1	Tasas de Crecimiento .....	68
4.1.2	El Pronóstico de Tráfico en la estación de peaje de Cochasqui se presenta en el Tabla 19. ....	69
4.1.3	Pesos máximos permitidos por la regulación vigente .....	69
4.1.4	Pesos por Eje Adoptados .....	69
4.1.5	Pesos de Referencia .....	71
4.1.6	Factor de Ejes Equivalentes .....	71
4.1.7	Estimación futura de Ejes equivalentes, ESAL's (80kN) en el carril de diseño sobre el período de diseño (kN). ....	71
4.2	MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE .....	72
4.3	MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE A PARTIR DEL CBR DE LABORATORIO .....	75
4.4	MÓDULO EFECTIVO DEL PAVIMENTO .....	75
4.5	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA EL TRÁNSITO FUTURO, (SN) .....	78
4.5.1	La cantidad estimada de ejes equivalentes (ESAL's) por carril, para el período de diseño, en nuestro caso es: .....	78

4.5.2	Módulo efectivo para diseño de subrasante, $M_r$ .....	78
4.5.3	Confiabilidad, $R$ .....	79
4.5.4	Desviación estándar total, $S_o$ .....	79
4.5.5	Pérdida de serviciabilidad, $\Delta PSI$ .....	79
4.5.6	Determinación del Número Estructural requerido. ....	80
4.6	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO PARA PAVIMENTOS EXISTENTES $SN_{EFF}$ .....	80
4.7	DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE SOBRECAPAS .....	81
4.7.1	Coeficiente estructural para recapeo de concreto asfáltico .....	82
4.8	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS EN FRÍO (MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO).....	82
4.8.1	Granulometría de la mezcla recuperada .....	83
4.8.2	Emulsión Asfáltica .....	83
4.8.3	Cantidad de asfalto necesario .....	83
4.8.4	Diseño de Espesores .....	84
4.8.5	Porcentaje de asfalto nuevo .....	84
4.9	Comprobación de resultados por el Método Racional .....	86
4.9.1	Fatiga en los materiales del Pavimento .....	87
4.10	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....	90
4.10.1	Reciclado de la carpeta existente .....	90
4.10.1.1	Fresado .....	90
4.10.1.2	Incorporación de emulsión .....	91
4.10.1.3	Compactación.....	91
4.10.1.4	Curado .....	93
4.10.1.5	Riego de liga .....	93
4.10.2	Sobre carpeta .....	94
4.10.2.1	Mezcla .....	94
4.10.2.2	Transporte.....	94
4.10.2.3	Colocación .....	94

4.10.2.4 Compactación.....	95
CAPÍTULO V.....	96
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	96
5.1 CONCLUSIONES.....	96
5.2 RECOMENDACIONES .....	97
Referencia Bibliográfica .....	99

## Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del Proyecto .....	6
Figura 2. División del Ecuador según el clima .....	8
Figura 3. Gráfica para el diseño de pavimentos asfálticos reciclados en frío (Mezcla tipo A).....	17
Figura 4. Gráfica par el diseño de pavimentos asfálticos reciclados en frío (Mezcla tipo B).....	18
Figura 5. Diagrama para la combinación de cemento asfáltico recuperado y cementos asfáltico nuevo: Ejemplo No. 1).....	20
Figura 6. Determinación del espesor de sobrecapa requerido .....	22
Figura 7. Diseño de Número Estructural .....	28
Figura 8. Coeficiente estructural a partir del Módulo elástico del concreto asfáltico .....	29
Figura 9. Variación en el coeficiente estructural de la capa de concreto asfáltico .....	29
Figura 10. Porcentaje de Área Afectada con Piel de Cocodrilo .....	45
Figura 11. Porcentaje de Área Afectada con Fisuración en Bloque .....	46
Figura 12. Porcentaje de Área Afectada con Fisuración Longitudinal .....	46
Figura 13. Temperatura en función del espesor de la capa asfáltica.....	53
Figura 14. Factor de corrección por temperatura en función del espesor de la capa asfáltica.....	54
Figura 15. Comportamiento de la Deflexión Central ( $\mu\text{m}$ ) .....	56
Figura 16. Índice de Condición Superficial .....	59
Figura 17. Índice de Deterioro de la Base .....	59
Figura 18. Índice de Curvatura de la Base .....	60
Figura 19. Cuadro Demostrativo de Pesos y Dimensiones Máximas .....	70
Figura 20. Módulo de Resiliencia de la Subrasante a partir de la deflexión .....	73
Figura 21. Módulo Efectivo del Pavimento .....	77
Figura 22. Comportamiento del Módulo Resiliente de Diseño de la Subrasante ...	79
Figura 23. Comportamiento del Número Estructural Efectivo $SN_{EFF}$ .....	81

## Índice de Tablas

Tabla 1. Principales ventajas de las técnicas de reciclado .....	12
Tabla 2. Gradaciones sugeridas para el reciclaje en frío .....	14
Tabla 3. Emulsiones asfálticas recomendadas para el reciclaje de pavimentos ...	15
Tabla 4. Espesores mínimos de capa de rodadura sobre una base reciclada en frío.....	18
Tabla 5. Inspección Visual.....	44
Tabla 6. Resultados de Mediciones de las Deflexiones .....	49
Tabla 7. Resultados de Mediciones de las Deflexiones corregidas por Carga (40 kN) .....	51
Tabla 8. Medida de la temperatura superficial del Pavimento y Medida de la Temperatura del Aire .....	52
Tabla 9. Corrección $d_o$ de temperatura del pavimento .....	54
Tabla 10. Parámetros empleados para la Evaluación Deflectométrica Cualitativa	56
Tabla 11. Parámetros Evaluación Deflectométrica Cualitativa .....	57
Tabla 12. Evaluación Deflectométrica Cualitativa .....	58
Tabla 13. Espesores de las Capas de Pavimento.....	63
Tabla 14. Espesores Adoptados para los Análisis (cm) .....	63
Tabla 15. CBR Base .....	64
Tabla 16. CBR Subrasante .....	64
Tabla 17. Equivalente de Arena .....	65
Tabla 18. Tasas de Crecimiento Vehicular .....	68
Tabla 19. Proyección de Tráfico .....	69
Tabla 20. Pesos por Eje Adoptados (t).....	70
Tabla 21. Pesos de Referencia para la Determinación del Factor de Ejes .....	71
Tabla 22. Factores de Ejes Equivalentes.....	71
Tabla 23. Estimación Futura de Ejes Equivalentes, ESAL's (80 kN) .....	72
Tabla 24. Valores Obtenidos de Módulo Resiliente .....	73
Tabla 25. $M_r$ de la Subrasante a partir del CBR.....	75
Tabla 26. Módulo Efectivo del Pavimento.....	76
Tabla 27. Módulo Resiliente de Diseño de la Subrasante .....	79
Tabla 28. Número estructural requerido.....	80

Tabla 29. Resultados Promedio Obtenidos por Km del Número Estructural Efectivo $SN_{EFF}$ .....	81
Tabla 30. Determinación de espesores de sobrecapas .....	82
Tabla 31. Granulometría de la mezcla recuperada .....	83
Tabla 32. Cálculo de comprobación por el Método Racional .....	90

## Índice de Anexos

Anexo No. 1. Fotografías de Toma de Densidades en Calicatas .....	102
Anexo No. 2. Fotografías de núcleos extraídos .....	103
Anexo No. 3. Registros de Excavación a Cielo Abierto .....	104
Anexo No. 4. Ensayos de Densidad de Campo .....	105
Anexo No. 5. Ensayos de Clasificación SUCS .....	106
Anexo No. 6. Resumen de Espesores .....	107
Anexo No. 7. Ensayos de CBR Base .....	108
Anexo No. 8. Ensayos de CBR Subrasante .....	109
Anexo No. 9. Equivalente de Arena .....	110
Anexo No. 10. Granulometría de la Carpeta Asfáltica .....	111
Anexo No. 11. Contenido de Materia Orgánica .....	112
Anexo No. 12. Resumen de Ensayos .....	113

## **Resumen**

Se realizó la evaluación estructural del pavimento existente mediante la inspección visual, medida de las deflexiones a través del deflectómetro de impacto y ensayos de laboratorio para definir la necesidad y la magnitud de la intervención para la rehabilitación del tramo vial. A partir de la información obtenida se decidió el método de cálculo a ser utilizado para definir la cantidad de emulsión requerida para el reciclado del pavimento existente y el procedimiento de diseño para la obtención del espesor necesario de sobrecarpeta en base a las proyecciones de tráfico para un período de diseño de 2 y 6 años, considerando las políticas de mantenimiento y la proyección de ampliación del tramo vial “Guayllabamba – El Pisque”.



## **Abstract**

We performed structural evaluation of the existing pavement by visual inspection, measurement of deflections through deflectometer and laboratory tests to determine the need and extent of intervention for the rehabilitation of the road section. From the data obtained it was decided calculation method to be used to define the required quantity of emulsion to the existing pavement recycling and the design procedure to obtain the required thickness of the overlay based on traffic forecasts for a design period of 2 and 6 years including maintenance policies and the projected expansion of the road section "Guayllabamba - El Pisque".

## **Introducción**

La compañía Panavial tiene a su cargo la concesión de la vía Panamericana que va desde Rumichaca hasta Riobamba; cuyo objetivo principal es brindar permanentemente confort y seguridad a los usuarios de la vía.

Como parte de la carretera Panamericana se encuentra el tramo “Guayllabamba – El Pisque”, ubicado al norte de la provincia de Pichincha entre los Km 18+450 y 21+840.

Actualmente el pavimento de este tramo vial presenta un alto grado de fisuración y una capa de rodadura envejecida que provoca un desplazamiento vehicular lento y aumenta la probabilidad de accidentes de tránsito.

La Concesionaria ha venido realizando trabajos de mantenimiento rutinario que ha permitido tener una vía en buen estado, sin embargo al transcurrir el tiempo y al cumplirse la vida útil del pavimento, estos trabajos se vuelven insuficientes debido al gran incremento del tráfico vehicular.

En este sentido se hace necesaria una solución de intervención que permita facilidad constructiva y sea económicamente factible, enmarcada dentro de los programas de mantenimiento vial que lleva a cabo la Concesionaria.

La evaluación de la estructura actual se basa fundamentalmente en la medición de deflexiones causadas por la aplicación de una carga real. Los valores obtenidos mediante este ensayo de campo “no destructivo” nos brindan mediante la aplicación del método de cálculo sugerido por el AASHTO 93 la medida de la capacidad de la subrasante, para posteriormente diseñar la sobre carpeta requerida.

La rehabilitación debe ir acompañada del reciclado de la carpeta existente para devolver al asfalto envejecido las condiciones adecuadas para la posterior colocación de la sobrecarpeta.

La investigación está estructurada fundamentalmente por los siguientes temas relevantes:

Capítulo I. El Problema: Objeto de la Investigación, Problematización, Objetivos, Justificación, Idea a defender.

Capítulo II. Marco Referencial, Marco Teórico, Marco Conceptual.

Capítulo III. Evaluación de la Estructura de Pavimento Existente

Capítulo IV. Diseño de la Propuesta de Rehabilitación

Capítulo V. Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía, Anexos.

# **CAPITULO I**

## **1 EL PROBLEMA**

### **1.1 EL OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN**

El objeto de la presente investigación es diseñar la estructura más adecuada para la rehabilitación del pavimento que presente las condiciones más económicas para su implementación y brinde mayor facilidad en el proceso constructivo.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El tramo de vía "Guayllabamba - El Pisque" presenta actualmente una capa de rodadura deteriorada debido al asfalto envejecido y el incremento del tráfico en este sector.

Las fallas presentadas han sido corregidas con trabajos de bacheo permanente y la colocación de capas de micro pavimento.

Conforme pasa el tiempo y al haberse cumplido con la vida útil de la estructura existente se comienzan a evidenciar problemas mayores y recurrentes que deben ser solventados con una rehabilitación a mediano plazo.

Al no contar con una capa de rodadura en buen estado el tráfico vehicular se torna lento con el consiguiente aumento en los tiempos de desplazamiento que provocan molestias para los usuarios y el riesgo de que se produzcan accidentes acentuados por el trazado de la vía producto de la zona montañosa sobre la cual se asienta.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Como alternativa más adecuada para la rehabilitación del pavimento flexible del tramo de vía "Guayllabamba – El Pisque" se considerará la estabilización de la capa de rodadura actual y la colocación de una capa de refuerzo.

### **1.4 SISTEMATIZACIÓN**

El desarrollo de este proyecto comprende las siguientes actividades:

- Diagnóstico de la vía existente: Con el cual se busca caracterizar las condiciones actuales de la estructura del pavimento, estado de la capa de

rodadura, tipos de fallas existentes en la superficie determinadas mediante la inspección visual y ensayos de campo y de laboratorio.

- Realizar la evaluación de los diferentes métodos empleados para el diseño de estructuras de pavimento flexible para establecer las diferentes alternativas posibles para la rehabilitación.
- Comparar los aspectos técnicos y constructivos de cada una de las alternativas planteadas para establecer su conveniencia o no al momento de su ejecución, mediante ensayos de laboratorio para la verificación de los resultados.
- Analizar la viabilidad económica de cada una de las alternativas de diseño estudiadas.
- Establecer la alternativa más adecuada y detallar el proceso constructivo que deberá seguirse para la obtención de los resultados esperados.

## **1.5 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICO**

### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar la rehabilitación del pavimento flexible en el tramo "Guayllabamba - El Pisque", mediante el reconocimiento visual y los estudios necesarios para el levantamiento de la condición actual del pavimento que permitan determinar las medidas necesarias para la recuperación de la estructura existente.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Realizar la evaluación de la capa de rodadura existente
- Analizar las alternativas posibles de rehabilitación
- Diseñar la alternativa más conveniente para la rehabilitación del pavimento flexible
- Describir el procedimiento constructivo de rehabilitación

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

### **1.6.1 Justificación Teórica**

El presente proyecto busca reunir en un documento el “estado del arte” en rehabilitación de pavimentos y aplicar los procedimientos empleados para realizar el diagnóstico de vía existente y poder establecer a partir de la condición de la estructura actual las distintas alternativas estructurales para su mejoramiento

tomando en cuenta los diferentes parámetros y proceso a considerarse en el diseño de estructuras de concreto asfáltico; así como también la factibilidad al momento de su ejecución.

### **1.6.2 Justificación Práctica**

La evaluación de la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible existente permitirá revelar las fallas significativas y así diseñar el reforzamiento de la estructura actual. Además permitirá mejorar su homogeneidad y calidad de servicio.

El diseño de la rehabilitación de este tramo considera también el volumen de tráfico actual y futuro lo que permite el mejoramiento de las condiciones de tránsito a mediano plazo planteando una alternativa que a más de ser económicamente factible cause menores molestias a los usuarios.

### **1.6.3 Justificación Relevancia Social**

Las carreteras son la vía de comunicación más importante de un país porque facilitan la movilización eficiente de vehículos que transportan personas, productos y materiales que promueven el desarrollo social y económico de nuestro país.

La concesión de carreteras es un mecanismo que se ha implementado de forma exitosa a nivel mundial vial y en este marco la concesión de la vía Panamericana tiene como fin mantener altos niveles de servicio.

Además es una realidad el gran impulso que se ha dado al turismo en el país, la apertura de las fronteras y el incremento de las actividades comerciales lo que ha generado un constante crecimiento del parque automotor que circula por la vía Panamericana.

El tramo “Guayllabamba – El Pisque” no es ajeno a esta realidad ya que se encuentra en un sector importante de la red vial que conecta centros de producción florícola, agrícola, ganadera y turística; en tal razón se hace necesaria su pronta intervención.

## 1.7 IDEA A DEFENDER

### 1.7.1 Idea a defender

El tramo de vía “Guayllabamba – El Pisque” requiere de una emergente rehabilitación a fin de brindar mejores condiciones de servicio al usuario mediante el diseño de la estabilización de la capa de rodadura actual y una capa nueva de refuerzo.

### 1.7.2 Variable Independiente

Las variables a considerarse y a las cuales se adaptará el presente trabajo son las siguientes:

- **Estructura existente de pavimento:** Es la composición de las capas que conforman el pavimento actual.
- **Condiciones de la capa de rodadura actual:** Se refiere a la situación que presenta actualmente la capa de rodadura.
- **Condiciones de tráfico actuales:** Es el volumen de tráfico que actualmente circula por la vía.
- **Trazado geométrico de la vía:** Se refiere al diseño geométrico de la vía tanto en planta como en perfil.

### 1.7.3 Variable Dependiente

Las variables que se considerarán a conveniencia de la presente investigación son:

- **Características granulométricas de los agregados:** Se refiere a la combinación del tamaño de los agregados.
- **Alternativas de estabilización de la capa de rodadura actual:** Las posibles opciones que pueden elegirse para la estabilización de la carpeta asfáltica existente.
- **Espesor de la capa de refuerzo de pavimento flexible:** Es el espesor de la sobre carpeta colocada para alargar la vida útil del pavimento.
- **Método constructivo:** Es el procedimiento que debe seguirse a fin de llevar a cabo los trabajos de rehabilitación del pavimento.

## **CAPITULO II**

### **2 EL MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1 MARCO REFERENCIAL**

##### **2.1.1 Ubicación Geográfica**

La vía Panamericana que se encuentra concesionada tiene una extensión aproximada de 512.60 km, desarrollándose en su mayoría en una topografía montañosa, a lo largo de la Cordillera de los Andes, atravesando las provincias de Carchi, Imbabura, Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo.

La concesión está dividida en dos sectores principales:

##### **NORTE**

Inicia en el límite internacional entre Ecuador y Colombia (Puente Internacional de Rumichaca), atravesando las ciudades y poblaciones de Tulcán, Julio Andrade, Huaca, San Gabriel, Bolívar, El Juncal, Carpuela, Ambuquí, El Chota, Salinas, Ibarra – Atuntaqui, Cotacachi, Otavalo, Cayambe, Tabacundo, Guayllabamba, en una extensión de 273 km.

##### **SUR**

Inicia en la ciudad de Quito, en el sector de INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias) y atraviesa las ciudades y poblaciones de Tumbillo, Alóag, Machachi, Pastocalle, Latacunga, Salcedo, Ambato, Mocha y Riobamba. Tiene una extensión aproximada de 169 km.

En el caso concreto del presente estudio, el tramo de vía “Guayllabamba – El Pisque” se encuentra ubicado en el sector norte de la Provincia de Pichincha, con una extensión de 3,76 Km.

El tramo de vía inicia desde el Km 18+450 correspondiente al redondel donde se unen las vías de Guayllabamba – Quito, Centro de Guayllabamba y Guayllabamba – Cayambe y termina en el Km 21+840, en donde se halla ubicado el Puente sobre el Río “El Pisque” que coincide aproximadamente con la “Y” que se forma en la intersección la vía que conecta a las Parroquias de San José de Minas, Perucho, Píllaro, etc., con la Panamericana Norte.



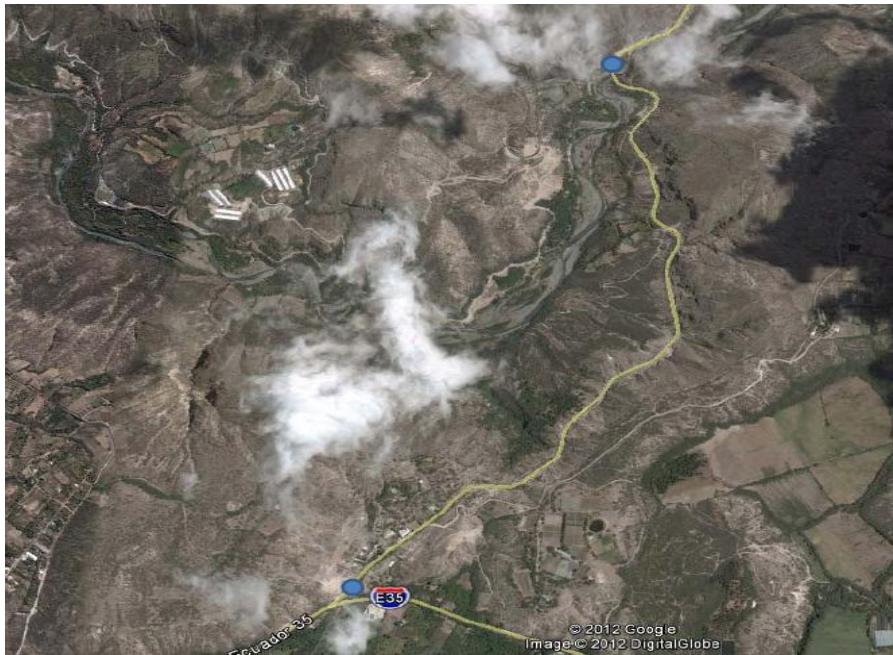
### 2.1.2 Coordenadas Geográficas

Las coordenadas geográficas en las que se encuentra ubicado este tramo vial son:

INICIO: 0°02'51.19" S a 2166 msnm  
78°20'29.89" W

FIN: 0°01'26.87" S a 1998 msnm  
78°20'00.65" W

**Figura 1. Ubicación del Proyecto**



(Fuente: Google Earth)

### 2.1.3 Importancia del tramo vial

La vía “Guayllabamba – El Pisque” constituye un tramo de carretera de gran importancia puesto que por este tramo de vía circulan tráfico de vehículos livianos y pesados ya que conecta a la parroquia de Guayllabamba, ubicada

aproximadamente a 18 Km de Quito con Tabacundo, Cayambe, uniendo la Provincia de Pichincha con la Provincia de Imbabura.

Al fin de este tramo cruzando el puente sobre el Río El Pisque inicia también la carretera que conduce a las parroquias de Pichincha como San José de Minas ubicada a 80 Km de la ciudad de Quito pasando por las parroquias rurales de Perucho y Puéllaro.

#### **2.1.4 Topografía e Hidrografía del sector**

El tramo vial “Guayllabamba – El Pisque” se encuentra asentado como la mayoría de la red vial de la Sierra sobre un sector montañoso.

#### **2.1.5 Altitud**

Con respecto a las alturas, la vía de este proyecto se encuentra ubicada a altitudes que van desde su inicio Km 0+000 con una altura, medida en sitio con GPS Diferencial, de 2166 msnm descendiendo hasta llegar al Km 3+760 con una altura de 1998 msnm, esto significa una diferencia de altura de 168 m en 3.760 m, lo que de manera promedio nos da una pendiente negativa de 4.5%.

#### **2.1.6 Aspectos climáticos**

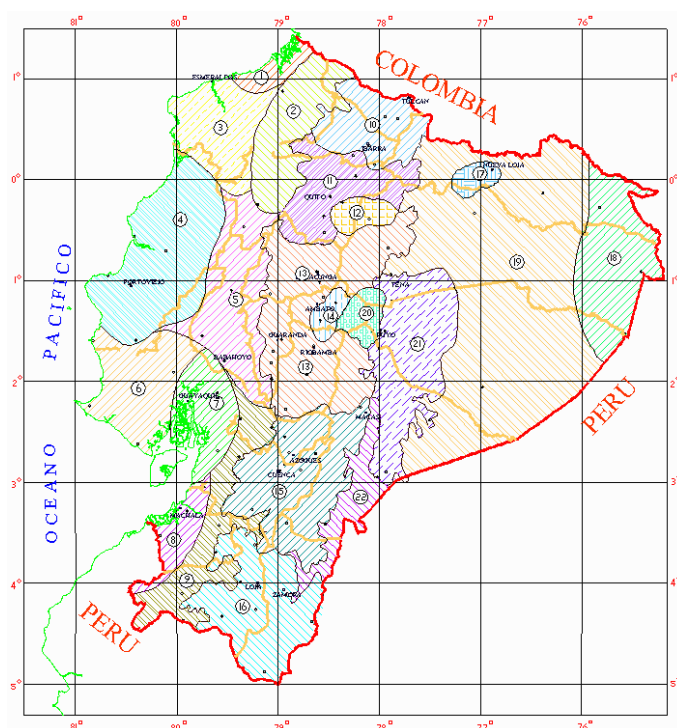
En los pavimentos flexibles y dado que el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica, el aumento o la disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando en ellas y bajo consideraciones especiales, deformaciones o agrietamientos que influirían en el nivel de servicio de la vía.

Este tramo vial se encuentra en las zona Interandina del Ecuador. A partir de la clasificación climática de Köpen, se han definido 23 áreas perfectamente identificadas, que se presentan en la Figura 2.

El proyecto se encuentra en el área No. 11. En esta zona se presenta clima Templado, la temperatura oscila entre 14°C y 19°C.

La zona del Proyecto se denomina Interandina Norte (área No. 11). En esta zona se presenta clima templado, cuya temperatura media es de 16°C.

**Figura 2. División del Ecuador según el clima**



(Fuente: Clasificación climática de Köpen)

### 2.1.7 Precipitación<sup>1</sup>

La época seca del año, comprende los meses de junio a septiembre, meses en los cuales se presenta la menor cantidad de precipitación del año, con valores mensuales que oscilan entre los 10 a 60 mm. Durante este período, los vientos se aceleran, la cantidad de radiación solar aumenta, la nubosidad y la humedad relativa disminuyen.

La época lluviosa, comprende los meses de octubre a mayo, con valores mensuales comprendidos entre los 70 y 120 mm. Esta época se caracteriza por la mayor cantidad de precipitación anual, la disminución en la intensidad del viento, el incremento en la cantidad de nubosidad y la disminución de radiación solar.

La infiltración del agua lluvia a través de las fisuras de la capa de rodadura hacia las capas granulares y de la subrasante de la estructura, influyen en la resistencia, el grado de compactación y los cambios volumétricos de los suelos de

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI

subrasante especialmente. La presencia de la lluvia influye en el rendimiento de algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras, la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas.

## **2.2 MARCO TEORICO**

Los pavimentos de una carretera están conformados por diferentes capas de materiales que en su conjunto forman una estructura resistente a las solicitaciones de tráfico que llegan a la superficie de forma que la subrasante o rasante de la vía no se vea afectada pues ésta no posee gran capacidad portante.

Cada una de las capas están definidas por su espesor y por la naturaleza del material que las conforman que les confieren un cierto comportamiento mecánico el cual es cuantificable a través de su módulo elástico.

Cuando los materiales que componen cada capa de la estructura se hallan ligados, éstos funcionan como una placa. Esto significa que en su parte superior existen compresiones horizontales con las correspondientes tracciones en su parte inferior. Los materiales fallan cuando la acumulación de estos esfuerzos de carga – descarga llegan a la fatiga provocando fisuras de abajo hacia arriba. Por lo tanto para la rehabilitación de un pavimento es fundamental identificar el espesor de cada una de las capas y su naturaleza.

Además de la identificación de los materiales existentes es importante conocer las condiciones de tráfico en el momento presente y su proyección hacia el futuro de acuerdo a la vida útil que se pretenda dar al pavimento. El análisis de las deflexiones aportará en mucho para saber el comportamiento de las propiedades mecánicas de las capas.

También es importante considerar las condiciones ambientales a las que está expuesta la vía ya que las carreteras están sujetas permanentemente a la acción del tráfico y los agentes meteorológicos, éstos sumados al envejecimiento de los materiales provocan un deterioro progresivo en la capa de rodadura del

pavimento lo que conlleva a una disminución de los niveles de seguridad y confort del usuario. Este deterioro y envejecimiento cuando sobrepasa ciertos valores hace necesaria su intervención para su conservación dentro de los parámetros aceptables para la circulación segura de tráfico.

Este proyecto pretende encontrar el procedimiento óptimo en el momento adecuado para realizar la rehabilitación a un menor costo de la estructura del pavimento.

### **2.2.1 Reciclado de Pavimentos Flexibles**

El presupuesto necesario para el mantenimiento de un pavimento, así como los problemas ambientales que de él se derivan hacen que se haga necesario el estudio de métodos de conservación que vayan acorde con la preservación del medio ambiente y permita reducir costos. En tal razón el reciclado de la carpeta asfáltica como medio de racionalizar recursos toma gran sentido y se convierte en una necesidad.

El reciclado de un pavimento consiste en la reutilización del material de un pavimento que ha cumplido su objetivo inicial mediante un tratamiento para construir una nueva capa.

Es de gran importancia aprovechar el valor residual de la carretera existente, esto implica que los materiales que han sido consolidados a través de los años producto del tráfico no deben ser alterados.

El desecho del material existente de la carpeta, además de provocar problemas por la adquisición de nuevos materiales, resulta problemático, ya que este material a pesar de estar envejecido aún conserva gran parte de sus cualidades. El fresado y la reutilización de la carpeta asfáltica representa un gran ahorro económico ya que requiere un porcentaje menor de asfalto frente a realizar un hormigón asfáltico nuevo, el costo del transporte tanto de agregados como de asfalto también se ve significativamente disminuido, lo que influye

considerablemente en el ahorro de energía tanto de la producción de asfalto como del combustible para su transporte.

### **2.2.1.1 Campos de Aplicación del Reciclaje<sup>2</sup>**

El reciclado de pavimentos puede ejecutarse cuando las fallas sean producidas por:

- Alta rigidez del ligante asfáltico debido al envejecimiento.
- Desprendimiento de los agregados debido a la falta de adherencia por el asfalto envejecido.
- Deformaciones plásticas traducidas en ahuellamiento, ondulaciones, corrimientos.
- Pulimento de los agregados superficial que disminuye la resistencia al deslizamiento.
- Afloramiento de asfalto causado por fallas en el diseño de la mezcla.
- Fisuras y grietas ocasionadas por la fatiga de la carpeta asfáltica o por cambios de temperatura.

### **2.2.1.2 Tipos de Reciclaje**

- a. Reciclaje Superficial.** Se refiere al tratamiento de pavimento de espesores no mayores a 2,5 cm y se utiliza para pavimentos que no presenten deficiencias estructurales. El procedimiento consiste en fresado, escarificación, trituración y la adición o no de agente de reciclaje, con o sin la incorporación de materiales nuevos y su recompactación. Este proceso puede realizarse en frío o en caliente.
- b. Reciclaje en frío.** Consiste en la rehabilitación de un pavimento mayor a 2,5 cm, involucrando o no el material de la capa de base. El procedimiento consiste en escarificación, trituración, mezcla con un agente de reciclaje en este caso de emulsión asfáltica y ocasionalmente con un porcentaje de agregado nuevo.

---

<sup>2</sup> Montejo Fonseca, Alfonso (2002) *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. (2da. Edición). Bogotá D. C: Universidad Católica de Colombia.

**c. Reciclaje en caliente.** Consiste en escarificar el espesor de pavimento deseado y transportarlo a una planta en la que es triturado y clasificado de acuerdo a su granulometría. Posteriormente se reconstruye en caliente la nueva mezcla según el nuevo diseño adoptado, para ello es necesario la inclusión de emulsión, agregado nuevo y asfalto nuevo. La nueva mezcla en caliente se transporta al sitio de colocación donde es tendido y compactado.

### 2.2.1.3 Ventajas de las Técnicas de Reciclado

En la Tabla 1 se detallan las principales ventajas de cada una de las técnicas de reciclado de acuerdo al Instituto del Asfalto:

**Tabla 1. Principales ventajas de las técnicas de reciclado**

<b>Técnica de Reciclado</b>	<b>Ventajas</b>
Reciclado Superficial	Mejora la resistencia al deslizamiento Corrige las deficiencias de origen superficial Mejora el perfil geométrico de la calzada Permite eliminar la capa de restitución de gálibo en refuerzos del pavimento
Reciclado "IN SITU"	Mejora la resistencia al deslizamiento Corrige las deficiencias de origen superficial Permite incrementar en forma limitada la resistencia estructural del pavimento Elimina temporalmente las fisuras reflejas Permite corregir las características de las mezclas asfálticas superficiales (6 a 7 cm) con deformaciones plásticas. Mejora el perfil geométrico de la calzada
Reciclado en planta	Refuerza estructuralmente al pavimento de acuerdo con las necesidades del proyecto Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural Produce mezclas asfálticas de mejor calidad Permite eliminar o corregir las capas intermedias de deficiente comportamiento Elimina las fisuras reflejas Mejora la resistencia al deslizamiento Corrige el perfil geométrico de la

(Fuente: The Asphalt Institute, "Asphalt Cold – mix Recycling", MS-21, March 1983).

#### 2.2.1.4 Agentes de reciclaje

Los agentes de reciclaje o también llamados "rejuvenecedores" son productos especiales derivados del petróleo que son usados con el objetivo de recuperar las propiedades iniciales del asfalto, los cuales deben cumplir las siguientes funciones<sup>3</sup>:

- Devolver al asfalto envejecido la estructura físico – química para hacerlo nuevamente durable.
- Restaurar en el asfalto el nivel de consistencia adecuado.
- Contribuir a satisfacer la cantidad de ligante requerido en la nueva mezcla.

El envejecimiento del asfalto de un pavimento es un proceso físico – químico complejo en el que están involucradas fundamentalmente reacciones de oxidación y evaporación; lo que se evidencia con el fisuramiento, desprendimiento de agregados, etc.

Muchos investigadores consideran que un asfalto ha culminado su vida útil cuando presenta las siguientes características<sup>4</sup>:

- Penetración (258, 5 seg. 100 g) < 20 (1/10 mm).
- Viscosidad absoluta a 258 °C > 10<sup>8</sup> Poises.

#### 2.2.1.5 Diseño de mezclas asfálticas recicladas en frío (Método del Instituto del Asfalto)

---

<sup>3</sup> Montejo Fonseca, Alfonso (2002) *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. (2da. Edición). Bogotá D. C: Universidad Católica de Colombia.

<sup>4</sup> Montejo Fonseca, Alfonso (2002) *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. (2da. Edición). Bogotá D. C: Universidad Católica de Colombia.



Los pasos a seguir se describen a continuación:

- Gradación del agregado y determinación del contenido de asfalto en la mezcla recuperada. El agregado de la mezcla recuperada se mezcla con agregados naturales recuperados o nuevos, para obtener una granulometría que cumpla con los requisitos indicados en la Tabla 2.

**Tabla 2. Gradaciones sugeridas para el reciclaje en frío**

Tamiz		Porcentaje que pasa						
		Gradación abierta			Gradación densa			
mm	Pg.	A	B	C	D	E	F	G
28.1	1½	100			100			
25.0	1	95-100	100		80-100			
19.0	¾		90-100					
12.5	½	25-60		100		100	100	100
9.5	3/8		20-55	85-100				
4.5	No. 4	0-10	0-10		25-85	75-100	75-100	75-100
2.36	No. 8	0-5	0-5					
1.18	No. 16			0-5				
0.30	No. 50						15-30	
0.15	No. 100							15-65
0.075	No. 200	0-2	0-2	0-2	3-15	0-12	5-12	12-20

Fuente: The Asphalt Institute, "Asphalt Cold – mix Recycling", MS-21, March 1983

- Gradación del material recuperado de la base granular y cantidad de agregado nuevo, de ser necesario.
- Calcular la combinación de agregados en la mezcla reciclada. La mezcla del agregado recuperado de la capa asfáltica, el recuperado de la base granular (si lo hay) y el agregado nuevo que se haya añadido, debe cumplir alguna de las normas granulométricas de la Tabla 2. Para que el reciclaje con asfalto sea posible, los agregados del pavimento a reciclar deberán cumplir además con al menos uno de los siguientes requisitos:
  - o Índice de penetración (IP) x % que pasa tamiz No. 200 < 72
  - o Equivalente de arena > 30%

- Elegir el tipo y grado del asfalto nuevo. Como regla general es recomendable utilizar el asfalto más pesado que brinde mayor trabajabilidad. Las emulsiones asfálticas son los aditivos asfálticos de mayor aplicación. La Tabla 3 resume las recomendaciones sobre las emulsiones a emplear en el reciclaje de pavimentos.

**Tabla 3. Emulsiones asfálticas recomendadas para el reciclaje de pavimentos**

Tipo de mezcla	Gradacion es sugeridas (Tabla 2)	Aniónicas			Cartiónicas		
		ARM	ARL-I	ARL-lh	CRM	CRL-I	CRL-lh
En planta:							
Abierta	A, B,C	x			x		
Densa	D		x	x		x	x
Arena - emulsión	E, F		x	x		x	x
En vía:							
Abierta	A, B, C	x			x		
Densa	D		x	x		x	x
Arena - emulsión	E, F		x	x		x	x
Suelo - emulsión	G		x	x		x	x

Fuente: The Asphalt Institute, "Asphalt Cold – mix Recycling", MS-21, March 1983

- Determinar la cantidad de asfalto necesario para la combinación de agregados. Se puede emplear la fórmula:

$$P_c = \frac{0.035a + 0.045b + Kc + F}{R}$$

Donde:

P<sub>c</sub> = Porcentaje de asfalto en peso de la mezcla total.

a = Porcentaje de material mayor a 2.36 mm (Tamiz No. 8)

b = Porcentaje de partículas entre 2.36 mm y 75 μm (No. 8 a No. 200).

c = Porcentaje de partículas menores a 75 μm (No. 200)

k = 0.15 si el porcentaje inferior a 75 μm está entre 11 y 15; 0.18 si está entre 6 y 10; 0.20 si es menor o igual a 5.

F = Varía entre 0 y 2% de acuerdo con la absorción del agregado. La fórmula se basa en un agregado pétreo con peso específico de 2.6 a 2.7. Si no se dispone de información, puede adoptarse un valor entre 0.7 y 1.0.

R = Concentración del producto asfáltico (1.0 para cemento asfáltico y suele variar entre 0.60 a 0.65 en emulsiones asfálticas).

- Estimar el porcentaje de asfalto nuevo que requiere la mezcla. Es la diferencia entre la demanda total de asfalto y la cantidad existente en el pavimento recuperado:

$$Pr = Pc - \frac{Pa \times \frac{Pp}{100}}{R}$$

Donde:

Pr = Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla reciclada

Pc = Porcentaje de asfalto por peso de la mezcla total (paso 5).

Pa = Porcentaje de asfalto en la mezcla recuperada del pavimento.

Pp = Porcentaje en que interviene el pavimento asfáltico recuperado dentro de la mezcla reciclada.

- Ajustar el contenido de asfalto mediante pruebas de campo. Se realiza en la obra para determinar los ajustes que se deban realizar para producir una mezcla resistente al agrietamiento y las deformaciones.

## Diseño de espesores

El Instituto del Asfalto brinda un procedimiento basado en el uso de emulsiones asfálticas y aplica los mismos principios empleados en el numeral anterior.

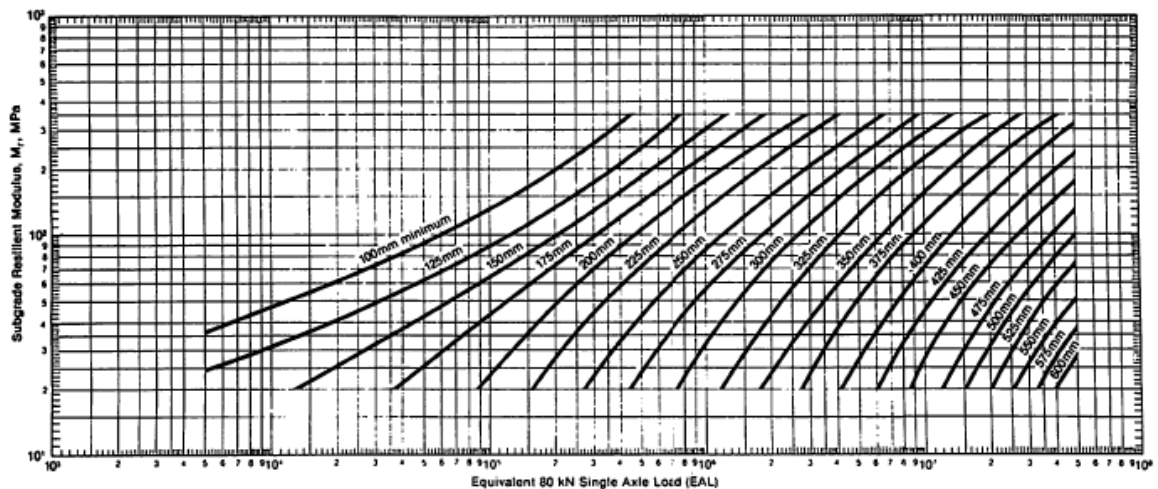
- Tránsito, calculado como número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 ton (80kN = 18 kips) en el carril de diseño durante el período de diseño.
- Soporte de la subrasante, en función del módulo resiliente.
- Tipo de mezcla. En el caso del reciclaje, el método contempla dos posibilidades:

- Tipo A: Con agregados procesados o semi-procesados, mezclados con la emulsión, en plantas centrales o camineras (gradaciones tipos A, B; C y D de la Tabla 2).
- Tipo B: Con arenas o suelos arenosos, mezclados en planta central o caminera, mezcladoras rotativas o motoniveladoras (gradaciones tipos E, F y G de la Tabla 2).

Si los agregados cumplen alguna granulometría entre la A y la D, pero no puede cumplirse el procedimiento constructivo recomendado, se supondrá que la mezcla es de tipo B.

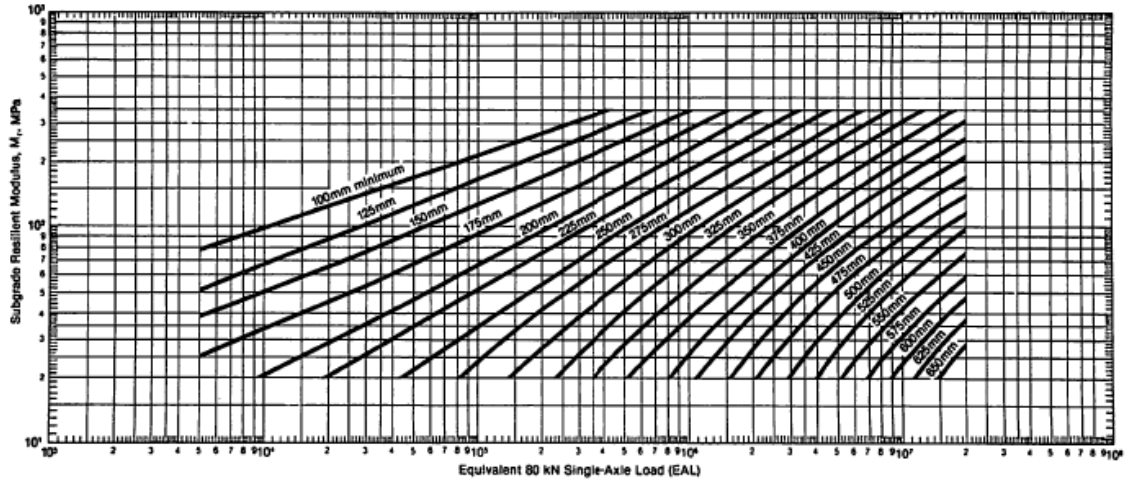
Con toda esta información se recurre a las gráficas de diseño (Figuras 3 y 4), las cuales indican el espesor total requerida de base reciclada y capa de rodadura. La Tabla 4, por su parte, muestra los espesores mínimos que deben tener la capa de rodadura en concreto asfáltico o base estabilizada con emulsión, más un tratamiento superficial simple o doble. Para tránsitos inferiores a  $10^4$  ejes equivalentes de 80 kN, el tratamiento se puede colocar directamente sobre la base reciclada.

Figura 3. Gráfica para el diseño de pavimentos asfálticos reciclados en frío (Mezcla tipo A).



Fuente: The Asphalt Institute, "Asphalt Cold – mix Recycling", MS-21, March 1983

Figura 4. Gráfica par el diseño de pavimentos asfálticos reciclados en frío (Mezcla tipo B).



Fuente: The Asphalt Institute, "Asphalt Cold – mix Recycling", MS-21, March 1983

Tabla 4. Espesores mínimos de capa de rodadura sobre una base reciclada en frío

Número de ejes equivalentes de 80kN	Espesor mínimo (mm)
$< 10^4$	Tratamiento Superficial
$10^4$	50
$10^5$	50
$10^6$	75
$10^7$	100
$>10^7$	130

Fuente: The Asphalt Institute, "Asphalt Cold – mix Recycling", MS-21, March 1983

### 2.2.1.6 Diseño de mezclas asfálticas recicladas en caliente (Método del Instituto del Asfalto)

El diseño de la mezcla se puede realizar con el método Marshall de la siguiente manera:

- **Agregados combinados en la mezcla reciclada.**

- **Demanda de asfalto para la combinación de agregados.** Puede determinarse por el ensayo CKE (equivalentes centrífugo de Kerosene) o estimarse con la fórmula empírica:

$$P_c = 0.035 a + 0.045 b + K_c + F$$

Donde:

- $P_c$  = Porcentaje de asfalto en peso de la mezcla total.
- $a$  = Porcentaje de material mayor a 2.36 mm (Tamiz No. 8)
- $b$  = Porcentaje de partículas entre 2.36 mm y 75  $\mu$ m (No. 8 a No. 200).
- $c$  = Porcentaje de partículas menores a 75  $\mu$ m (No. 200)
- $k$  = 0.15 si el porcentaje inferior a 75  $\mu$ m está entre 11 y 15; 0.18 si está entre 6 y 10; 0.20 si es menor o igual a 5.
- $F$  = Varía entre 0 y 2% de acuerdo con la absorción del agregado. La fórmula se basa en un agregado pétreo con peso específico de 2.6 a 2.7. Si no se dispone de información, puede adoptarse un valor entre 0.7 y 1.0.

- **Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla.**

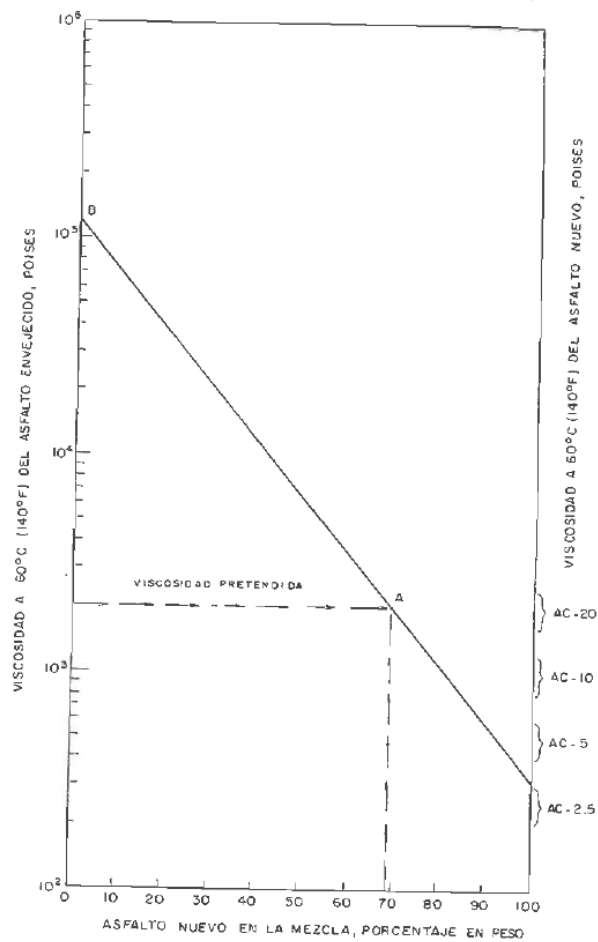
$$P_r = P_c - P_a \times \frac{P_p}{100}$$

Donde:

- $P_r$  = Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla reciclada
- $P_c$  = Porcentaje de asfalto por peso de la mezcla total
- $P_a$  = Porcentaje de asfalto en la mezcla recuperada del pavimento.
- $P_p$  = Porcentaje en que interviene el pavimento asfáltico recuperado dentro de la mezcla reciclada.

- **Selección del grado del asfalto nuevo**<sup>5</sup>. Empleando la Figura 5, se elige la viscosidad a la que se quiere llegar con la combinación de asfaltos. Comúnmente, se escoge una viscosidad intermedia similar a la de un asfalto AC-20, con una viscosidad de 2000 Poises.

**Figura 5. Diagrama para la combinación de cemento asfáltico recuperado y cementos asfáltico nuevo: Ejemplo No. 1)**



<sup>5</sup> Montejo Fonseca, Alfonso (2002) *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. (2da. Edición). Bogotá D. C: Universidad Católica de Colombia.

Fuente: The Asphalt Institute, "Asphalt Cold – mix Recycling", MS-21, March 1983

- **Tanteos de diseño de la mezcla y selección de la fórmula de trabajo.**  
Se hacen tanteos usando el método Marshall. El contenido de asfalto se puede ajustar cambiando la cantidad de asfalto nuevo, hasta llegar a una mezcla que cumpla con el criterio del procedimiento de diseño utilizado.

### **Diseño de espesores**

El procedimiento de diseño de estructuras de pavimento que empleen capas recicladas en caliente, es esencialmente el mismo que se utiliza para estructuras nuevas.

Teniendo en cuenta los incrementos en magnitud y frecuencia del tránsito pesado se hace necesario un pavimento de mayor resistencia que el original, el Instituto del Asfalto recomienda diseñar una estructura de espesor pleno utilizando materiales de la base granular en la mezcla reciclada.

### **2.2.2 Diseño de sobre capas asfálticas en pavimentos flexibles a partir del deflectómetro**

En el presente trabajo analizaremos dos métodos basados en la medida de las deflexiones:

- Método del Instituto del Asfalto
- Método AASHTO 93.

#### **2.2.2.1 Diseño de sobrecapas propuesto por el Instituto del Asfalto.**

**Investigación de campo.** La magnitud de las deflexiones de un pavimento indica su aptitud para soportar las cargas de tránsito y permite determinar la magnitud de las acciones correctivas a tomar.

**Tránsito de diseño.** Se deberá realizar una proyección de tránsito para el período de diseño del refuerzo que se vaya a colocar al pavimento. La proyección, realizada a partir de los datos de la serie histórica de tránsito, es idéntica a la que

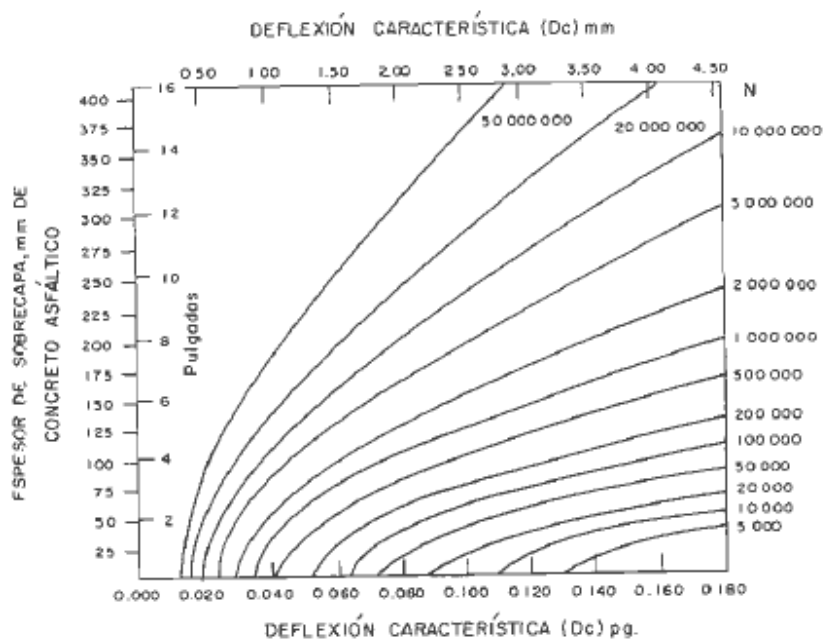


se realiza en el método de diseño de pavimentos nuevos y obteniéndose un tránsito futuro, expresado como número acumulado de ejes simple equivalentes de 8.2 t (80kN = 18 kips) en el carril de diseño durante el período de diseño (Nd).

El procedimiento que se va a utilizar en este estudio, es el siguiente:

- Determinar la deflexión característica
- Calcular el tránsito para el tiempo que se tomará como período de diseño de la sobrecapa.
- Con estos dos valores, determinar en la gráfica de diseño (Figura 6), el espesor requerido de sobrecapa, en concreto asfáltico.

**Figura 6. Determinación del espesor de sobrecapa requerido**



Fuente: The Asphalt Institute. Asphalt Overlay for Highway and Street Rehabilitation, Manual Series No. 17, June 1983

### 2.2.2.2 Diseño de recapeos por el método de AASHTO

Los métodos de rehabilitación de pavimentos por colocación de una sobrecapa o recapeo sobre la estructura existente son muy variados, en función del tipo y deterioro de la estructura y superficie existente, en este caso hablaremos de concreto asfáltico sobre pavimento de concreto asfáltico.

El objeto de este recapeo tiene dos funciones: mejorar la capacidad estructural y mejorar la serviciabilidad.

Se habla de mejorar la capacidad estructural cuando las condiciones de la estructura de pavimento está llegando a su período de diseño y es necesario el refuerzo de la estructura para soportar el crecimiento del tránsito y por ende de las cargas.

La serviciabilidad disminuye cuando las condiciones de la superficie del pavimento ha llegado a su vida útil y sufrido tal deterioro que no permita el desplazamiento normal de los vehículos.

Para el diseño del recapeo de una estructura de pavimento de concreto asfáltico sobre concreto asfáltico por el método de AASHTO, es necesaria la siguiente información:

### **2.2.2.3 Diseño y construcción de pavimento existentes**

Comprende la recopilación de la información disponible antes de proceder a la toma de decisión sobre la metodología de investigación a utilizar, la información con la cual se podría contar es la siguiente:

- El diseño del pavimento original
- Los espesores de las capas construidas, junto con cualquier cambio en los diseños especificados del pavimento
- Los resultados de los procesos y los ensayos de control de calidad desarrollados durante la construcción.
- La calidad de los materiales disponibles en canteras y zonas locales
- La planimetría
- Los niveles finales del pavimento y de umbrales
- Detalles del sistema de drenaje

#### **2.2.2.4 Análisis del tránsito**

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resista determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80kN o 18 kips. Se los denomina ESAL, que es la sigla en inglés de “Carga de Eje Equivalente Simple”.

Las diferentes cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo. Además, diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales responden de diferente manera a una misma carga. Debido a esta diferente respuesta en el pavimento, las fallas serán distintas según la intensidad de la carga y las características del pavimento. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito es reducido a un número equivalente de ejes de una determinada carga que producirán el mismo daño que toda la composición del tránsito. Esta carga tipo según AASHTO es de 80kN o 18 kips. La conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga.

En todo estudio de tránsito se debe conocer el tránsito promedio diario (TPDA) que puede ser obtenido mediante censos de tránsito en el tramo vial en estudio.

También es necesario conocer las tasas de crecimiento de tránsito, así como la distribución por dirección y si se trata de una vía de varios carriles, la distribución por carril.

Es necesario conocer el porcentaje de camiones presentes en el volumen de tránsito a estudiar, así como también la clasificación de estos camiones. Diferentes tipos de camiones llevan distintas cargas

#### **2.2.2.5 Inspección de las condiciones de la capa de rodadura**

La inspección visual es una de las herramientas más poderosas en las rehabilitaciones de pavimentos y forma parte esencial de toda la investigación. La inspección visual se realiza generalmente en dos etapas:

##### **Inspección Visual Inicial**

En este caso se pretende obtener una inspección general del proyecto y definir los límites de secciones homogéneas, en las que se tengan tipos y niveles similares de deterioro o bien se parcializa el pavimento a estudiar tomando como referencia puntos singulares de fácil identificación. Generalmente esta tarea se

realiza sobre un vehículo conduciendo a baja velocidad abarcando toda la longitud de la vía.

### **Inspección Visual Detallada**

Esta etapa consiste en inspeccionar la vía caminando sobre ella, tomando todas las medidas de seguridad necesarias. Se toma nota de las fallas encontradas en la superficie, y se anotan observaciones adicionales como estado del drenaje, aspectos geométricos, carril más deteriorado, exudaciones.

Los diversos tipos de falla se describen en función de su severidad, frecuencia y localización, de esta forma se tendrá una herramienta importante a la hora de fijar la estrategia de rehabilitación.

Se tendrá de todas las fallas o situaciones especiales una base de fotografías convenientemente identificadas.

#### **2.2.2.6 Prueba de deflexiones y su análisis**

La guía AASHTO 93 para el diseño de sobrecapas basado en la medición e interpretación de ensayos no destructivos (deflexiones) supone que la capacidad estructural de un pavimento depende de su espesor total y de su rigidez.

#### **2.2.2.7 Ensayos de Campo**

##### **Calicatas**

La materialización de calicatas, permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuestas, a través de las paredes de esta, realizar ensayos de densidad "in situ" o penetraciones con el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP). Estas determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través de las características reales de los materiales componentes.

Las calicatas facilitan además la toma de muestras en cantidad, para su posterior clasificación en el laboratorio, de cuyos resultados se puede establecer el uso más efectivo de estos al momento de realizarse las tareas de rehabilitación.

Suministran información adicional sobre:

- Los espesores de las capas
- Los contenidos de humedad
- El estado real de la capa (agrietamiento y cementación)

### 2.2.2.8 Determinación del número estructural requerido para el tránsito futuro (Sn)<sup>6</sup>

El método AASHTO emplea el concepto de Número Estructural (SN) que representa la capacidad de un firme para soportar las sollicitaciones del tráfico.

- **Módulo efectivo para diseño de subrasante, Mr**

$$\text{Diseño Mr} = C \times 0,24 \times P / (d_r \times r)$$

Donde:

Mr: Módulo de resiliencia de la subrasante, psi

P: Carga aplicada en libras. En este caso igual a 9000 libras = 40 KN.

d<sub>r</sub>: Deflexión medida a una distancia r del centro del plato de carga, en pulgadas.

r: Distancia desde el centro del plato de carga, en pulgadas, igual a 0,90 m = 35,43 pulgadas.

C: Factor de corrección, en este tramo por tener suelos areno – limosos se considera C = 0,33

- **Confiabilidad, R**

Este valor se refiere al grado de seguridad ó veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones. La confiabilidad debe ser mayor cuanto más importante sea la carretera y mayor el volumen de tráfico. Valores entre 0.80 y 0.99 son apropiados para carreteras de la red principal.

- **Desviación estándar total, S<sub>o</sub>**

Se trata de un coeficiente para tener en cuenta los errores o desviaciones del diseño, incluyendo las variaciones en las propiedades de los materiales, variación en las propiedades de la subrasante, en las estimaciones del tráfico, en las condiciones climáticas y en la calidad de la construcción. Para ello se establece un valor de desviación típica. Teóricamente este valor debe ser resultado de las condiciones locales,

---

<sup>6</sup> Coronado Iturbide, Jorge (2002) *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: Secretaria de Integración Económica Centroamericana.

aunque en la práctica la guía AASHTO recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Para pavimentos flexibles	0,40 – 0,50
En construcción nueva	0,35 – 0,40
En sobrecapas	0,50

- **Pérdida de serviciabilidad,  $\Delta PSI$**

La serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto)

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final; la inicial ( $p_o$ ) es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal ( $p_t$ ) va en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador; los valores que se recomiendan por experiencia son:

**Serviciabilidad inicial.**

$P_o = 4.5$  para pavimentos rígidos

$P_o = 4.2$  para pavimentos flexibles

**Serviciabilidad final**

$P_t = 2.5$  ó más para caminos principales

$P_t = 2.0$  para caminos de tránsito menor

- **Tránsito futuro (ESAL's)  $W_{18} = N_F$**

### 2.2.2.9 Determinación del número estructural efectivo para pavimentos existentes $SN_{eff}$

$$SN_{eff} = 0,0045 \times D \times (E_p)^{0.33}$$

Donde:

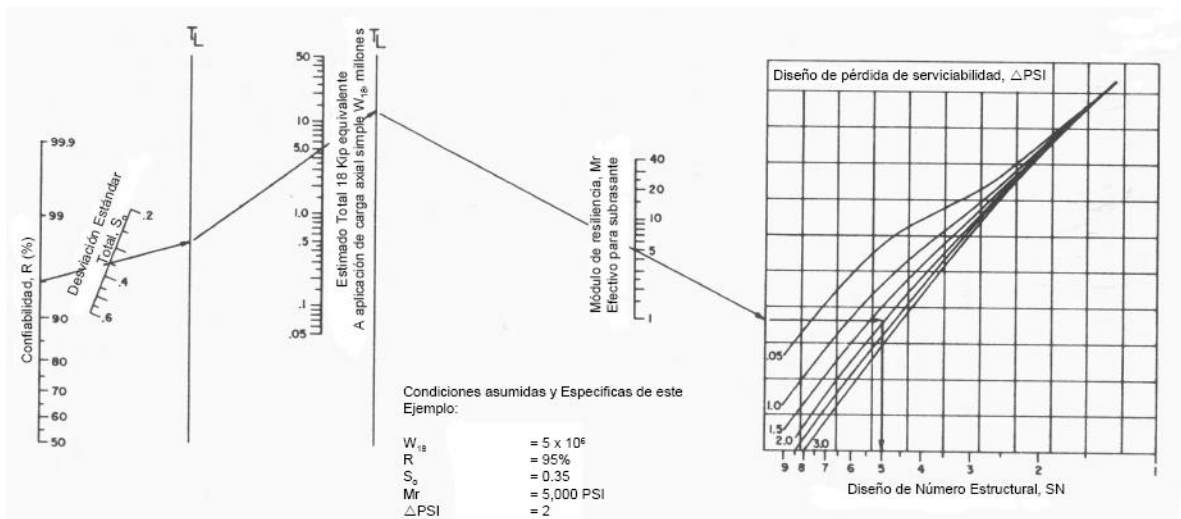
D = Espesor total para todas las capas desde la subrasante, plgs

Ep = Módulo efectivo del pavimento, psi

### 2.2.2.10 Determinación del número estructural requerido

En la Figura 7 se presenta la figura del ábaco por medio del cual se obtiene el número estructural.

Figura 7. Diseño de Número Estructural



Fuente: **Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993**

La ecuación que determina el SN es:

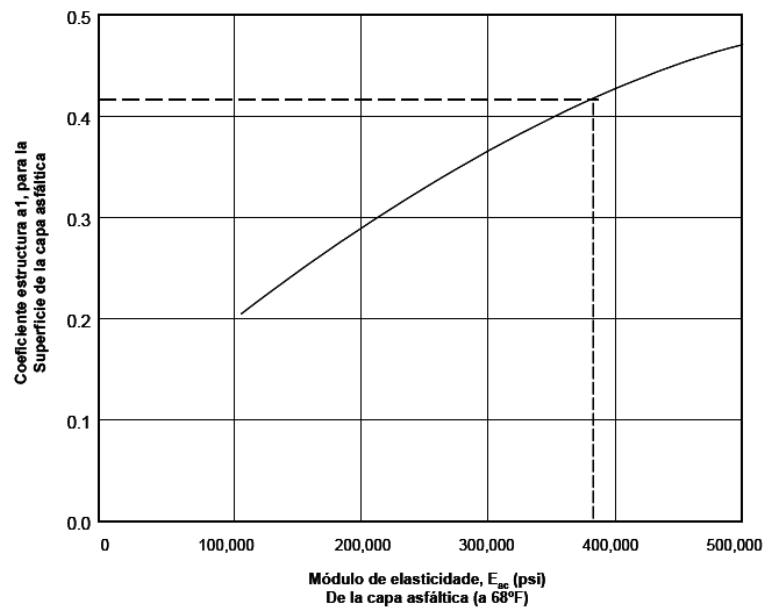
$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

### 2.2.2.11 Determinación del coeficiente estructural para recapeo de concreto asfáltico

Para encontrar los valores de los coeficientes estructurales de capa ( $a_{01}$ ), se hace uso de la Figura 8 en función del módulo elástico del concreto asfáltico y los módulos de resiliencia de la base y la subbase.

Cuando no se tenga el valor del módulo de elasticidad del concreto asfáltico, el coeficiente estructural se puede calcular con base en la estabilidad Marshall, según la Figura 9.

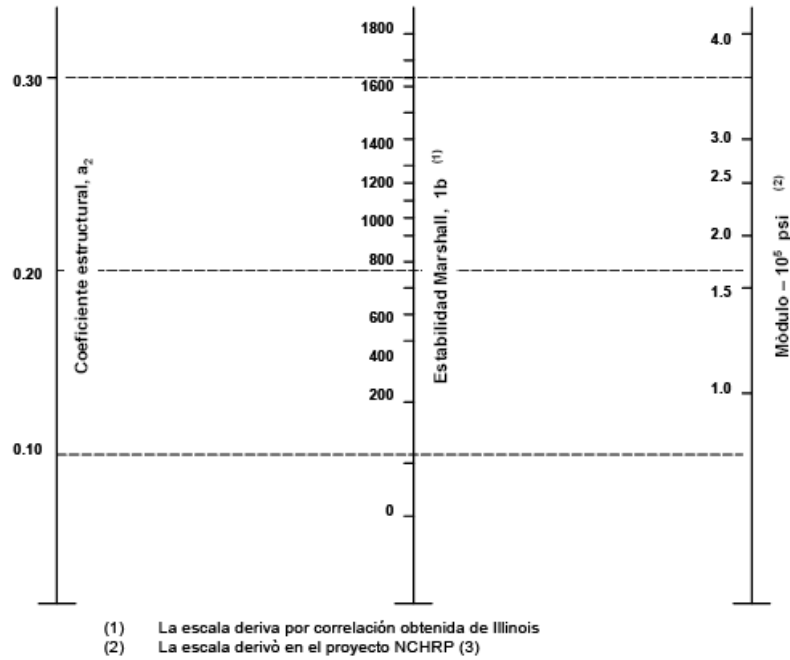
Figura 8. Coeficiente estructural a partir del Módulo elástico del concreto asfáltico



Fuente: **Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1.993**

Figura 9. Variación en el coeficiente estructural de la capa de concreto asfáltico





Fuente: **Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1.993**

### 2.2.2.12 Determinación de espesores de sobrecapas

La capa de refuerzo se calcula como la diferencia entre el número estructural necesario para el tráfico futuro y el número estructural efectivo del firme existente.

$$D_{01} = SN_{01} / a_{01} = (SN_f - SN_{eff}) / a_{01}$$

Donde:

- $D_{01}$  = Espesor requerido de recapeo.
- $SN_{01}$  = Número estructural requerido del recapeo
- $a_{01}$  = Coeficiente estructural para recapeo de concreto asfáltico
- $SN_f$  = Número estructural requerido para el tránsito futuro
- $SN_{eff}$  = Número estructural efectivo determinado para pavimento existente

## **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

Los términos más importantes del presente trabajo de investigación se definen a continuación:

### **2.3.1 Definición de términos<sup>7</sup>**

**Áridos o Agregados** Nombre genérico para distintos grupos de partículas minerales, de diferentes tamaños, que proceden de la fragmentación natural o artificial de las rocas.

**Asfalto** Betún sólido, semisólido o líquido, de color entre negro o pardo oscuro, encontrado en depósitos naturales y obtenido artificialmente como un residuo del petróleo. En nuestro país, la mayor parte del asfalto empleado se obtiene del petróleo.

**Asfalto Natural** Asfalto formado naturalmente por la migración de petróleos hacia la superficie terrestre, seguida o combinada con la volatilización de sus

---

<sup>7</sup> *Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes MOP – 001F – 2002.* Ecuador. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.

componentes más ligeros y que se los encuentra mezclados, en mayor o menor proporción, con materia mineral.

**Asfalto Rebajado** Es un cemento asfáltico, líquido a la temperatura ambiente, que se obtiene durante el proceso de refinación del petróleo o calentando y diluyendo un cemento asfáltico, mediante la adición de un destilado volátil del mismo petróleo: nafta, gasolina, kerosén, aceites combustibles, aceites diesel o combustibles para propulsión a chorro.

**Base** Capa (o capas) de espesor definido, de materiales sujetos a determinadas especificaciones, colocada sobre la subbase o la subrasante para soportar las capas de superficie o rodadura.

**Betún** Material en estado sólido, semisólido o líquido, con propiedades aglomerantes, que resulta de la mezcla de hidrocarburos naturales y/o artificiales; se presenta a menudo con sus derivados no metálicos y es completamente soluble en bisulfuro de carbono. Los asfaltos y los alquitranes son betunes.

**Capa de rodadura o superficie** Capa superior de la calzada, de material especificado, designada para dar comodidad al tránsito. Debe tener características antideslizantes, ser impermeable y resistir la abrasión que produce el tráfico y los efectos desintegrantes del clima. A veces se la llama “Capa de Desgaste”.

**Capa ligante** Cuando una capa de hormigón asfáltico tiene un espesor superior a siete centímetros (7cm) es conveniente construirla en dos capas: la inferior recibe el nombre de ligante o de nivelación y la superior, de rodadura o superficie.

**Capa sellante** Tratamiento superficial simple cuyo propósito principal es obtener una superficie impermeable.

**Carpeta** Capa de concreto asfáltico, de un espesor determinado, que se coloca para que sirva de capa de rodadura.

**Cemento asfáltico** Asfalto refinado, semi-sólido a la temperatura ambiente y de consistencia apropiada para fines de pavimentación.

**Compactación** Aumento de la “Densidad” de un determinado suelo o CAPA DEL FIRME al comprimirlo empleando medios mecánicos.

**Concreto asfáltico** Es una mezcla en planta de cemento asfáltico con agregados minerales.

**Doble tratamiento superficial** Tratamiento superficial constituido por dos (2) capas.

**Emulsiones asfálticas** Líquidos no inflamables, resultantes de la combinación de asfalto y agua con la presencia de un agente emulsificador, tal como carbón, productos químicos o especiales, arcillas coloidales.

Generalmente, se consideran tres tipos básicos, de acuerdo con la velocidad de “ruptura” (separación del asfalto y el agua), velocidad que depende del tipo y la cantidad del agente emulsificante: Ruptura rápida (RS), Ruptura media (MS) y Ruptura lenta (SS).

Para cada tipo, se establece un grado de viscosidad representado por un número entre uno (1) y cuatro (4).

Las emulsiones de curado rápido no son apropiadas para mezclarse con agregados húmedos, pues se “quiebran” o se rompen antes de que el asfalto recubra los agregados.

**Estabilización** Tratamiento que se aplica a los suelos o a las capas del firme mediante la adición de un ligante (cal, cemento, asfalto, productos químicos, etc.), para mejorar sus características mecánicas y conseguir un suelo o capa de firme capaz de soportar los esfuerzos impuestos por las cargas del tránsito y resistir la acción de los agentes atmosféricos, conservando materialmente uniforme su volumen.

Este procedimiento se usa frecuentemente para mejorar la subrasante y con ellos disminuir el espesor de las capas de subbase y/o base, o para construir una capa de base capaz de soportar una capa de rodadura asfáltica.

**Estructura del Pavimento** Combinación de capas de subbase, base y de superficie o rodadura colocadas sobre una subrasante, para soportar las cargas del tránsito y distribuir los esfuerzos en la plataforma.

**Firme** Nombre genérico para todas las capas que constituyen la estructura del pavimento.

**Mezcla caliente en planta** Mezcla preparada en planta y en caliente, y que debe ser tendida y compactada cuando todavía está con la temperatura especificada.

**Mezcla fría en planta** Mezcla que se prepara, se tiende y se compacta a la temperatura ambiente.

**Mezcla en planta** Mezcla de asfalto y agregados realizada en una planta central.

**Mezcla en la vía** Mezcla realizada en el lugar (la vía) de agregado, rellenedor mineral y un ligante asfáltico, tendida y compactada sobre la subrasante o la base preparada.

**Pavimento** Nombre genérico para toda la “estructura” de un pavimento (firme). No obstante se lo utiliza también para designar solo la capa de rodadura, especialmente cuando ella está constituida por una carpeta.

**Riego de imprimación** Aplicación de asfalto líquido, de baja viscosidad, a un suelo o capa de firme, para hacerlo impermeable y facilitar la unión con la capa superior.

**Riego de liga (o ligante)** Aplicación de asfalto líquido, usualmente sobre capas superficiales viejas (de rodaduras o desgaste), para facilitar su unión con nuevas capas de pavimento.

**Subbase** Capas, de espesor definido, de materiales que cumplen determinadas especificaciones, las cuales se colocan sobre una subrasante aprobada, para soportar la capa de base.

**Subrasante** Superficie superior de la obra básica, preparada como fundación de la estructura de pavimento y de los espaldones.

**Tratamiento superficial bituminoso** Riego de un ligante asfáltico cubierto por una capa de agregado, de espesor igual al máximo tamaño de éste, realizado con el propósito de obtener una superficie uniforme, antideslizante, resistente a los agentes atmosféricos e impermeable, pero que no aumenta la capacidad soportante.

Puede constar de una o más capas. En este último caso, en cada capa superior el tamaño máximo del agregado y la cantidad de ligante van disminuyendo.

**Tratamiento superficial simple** Tratamiento superficial constituido por una (1) sola capa.

## **2.4 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

El presente estudio se enmarca dentro de las normas vigentes aplicables:

Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y Puentes MOP-001 – F 2002 del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de la República del Ecuador. Quito – 2002.

AASHO, Asociación Americana de Autoridades de Vialidad de los Estados. (American Association of State Highway Officials).

AASHTO, Asociación Americana de Autoridades de Vialidad y Transporte de los Estados. (American Association of State Highway and Transportation Officials).

ACI, Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute).

ASTM, Sociedad Americana para Ensayo de Materiales (American Society for Testing and Materials).

## **CAPITULO III**

### **3 EVALUACION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE**

El alcance del presente capítulo comprende la evaluación del pavimento existente mediante la inspección visual, medida de las deflexiones y ensayos de laboratorio realizados.

Las recomendaciones para la rehabilitación de la estructura del pavimento existente se realizará en base a los resultados obtenidos de la evaluación de la estructura actual y el análisis de tráfico

#### **3.1 INSPECCIÓN VISUAL INICIAL**

El tramo de vía en estudio comprende desde la abscisa 18+300 (Fotografía No. 1) siguiendo hacia el norte hasta la abscisa 21+840 ubicada en el puente sobre el Río El Pisque (Fotografía No. 2).

**Fotografía No. 1 Inicio del Tramo en estudio (Km 18+450)**





**Fotografía No. 2 Fin del Tramo en estudio (Km 21+800)**



En este recorrido se pudo observar lo siguiente:

La vía está formada por 2 carriles de un ancho de 3,65 m (uno por sentido) con un espaldón a cada lado de 1,50 m (Fotografía No. 3).

**Fotografía No. 3 Sección Típica (Km 20+600)**



La vía cuenta con señalización horizontal y vertical adecuada (Fotografía No. 4).

**Fotografía No. 4 Señalización horizontal y vertical (Km 21+400)**





La vía posee cunetas a cada lado y se han realizado a lo largo del tiempo obras de sostenimiento de la vía (Fotografía No. 5).

**Fotografía No. 5 Obras de drenaje y Sostenimiento (Km 20+800)**



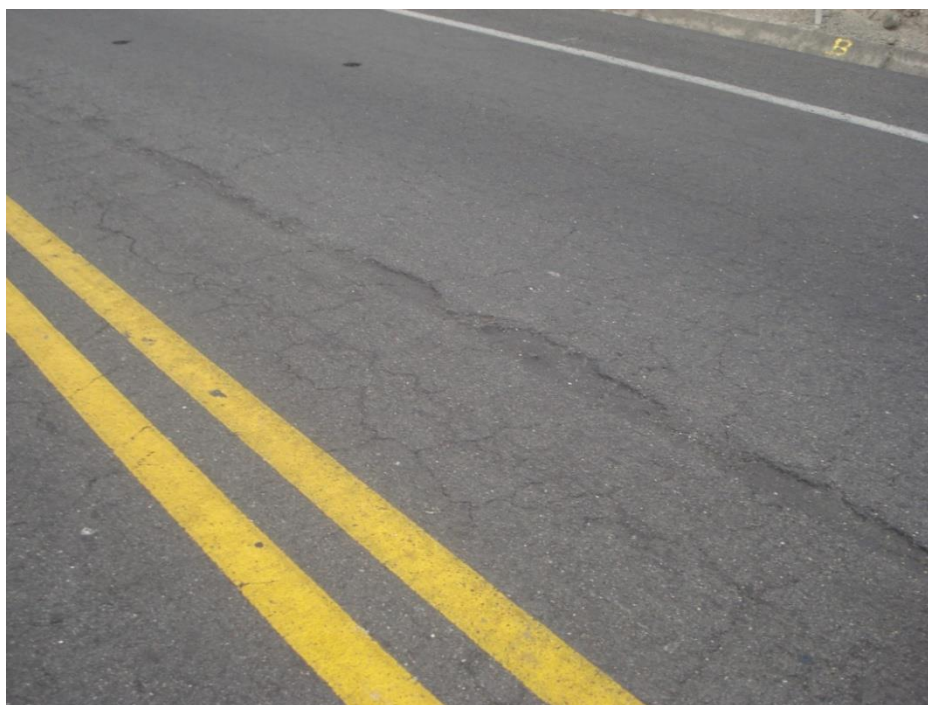
Se evidencian los trabajos de mantenimiento superficial como bacheo (Fotografía No. 6)

**Fotografía No. 6 Mantenimiento realizado (Km 21+000)**



Se pudo visualizar las fallas superficiales que presenta el pavimento como: fisuración en bloque y piel de cocodrilo y desgaste de la capa de rodadura.

**Fotografía No. 7 Fisuración (Km 20+200)**



**Fotografía No. 8 Fisuración en bloque (Km 20+400)**





**Fotografía No. 9 Desgaste de la capa de rodadura (Km 21+300)**



**Fotografía No. 10 Desgaste de la capa de rodadura y fisuración (Km 21+360)**



**Fotografía No. 11 Fisuración en bloque (Km 21+420)**



**Fotografía No. 12 Fisuración piel de cocodrilo (Km 20+560)**



**Fotografía No. 13 Fisuración en bloque (Km 20+420)**





### 3.2 INSPECCIÓN VISUAL DETALLADA

Se realizó la inspección visual detallada caminando sobre la vía a lo largo de todo el tramo; el análisis se realizó cada 100 m en una longitud de 20 m en todo el ancho de la vía.

El resumen de esta inspección se detalla en la Tabla 5

**Tabla 5. Inspección Visual**

Abscisa	Piel de Cocodrilo	Fisuración en bloque	Fisuración longitudinal	Fisuración transversal
18+400	Mediano	Alto	Bajo	No existe
18+500	Alto,	Alto	Mediano	No existe
18+600	Alto,	Alto	Mediano	No existe
18+700	Alto,	Alto	Mediano	No existe
18+800	Mediano	Alto	Mediano	No existe
18+900	Mediano	Alto	Mediano	No existe
19+000	Alto	Alto	Mediano	No existe
19+100	Mediano	Mediano	Mediano	No existe
19+200	Mediano	Alto	Mediano	No existe
19+300	Alto	Alto	Mediano	No existe
19+400	Mediano	Mediano	Mediano	No existe
19+500	Mediano	Alto	Mediano	No existe

19+600	Mediano	Alto	Mediano	No existe
19+700	Alto	Alto	Mediano	No existe
19+800	Mediano	Alto	Mediano	No existe
19+900	Mediano	Alto	Mediano	No existe
20+000	Mediano	Alto	Mediano	No existe
20+100	Mediano	Alto	Mediano	No existe
20+200	Alto	Alto	Mediano	No existe
20+300	Mediano	Alto	Alto	No existe
20+400	Mediano	Alto	Mediano	No existe
20+500	Mediano	Alto	Mediano	No existe
20+600	Alto,	Alto	Mediano	No existe
20+700	Alto,	Alto	Mediano	No existe
20+800	Alto,	Alto	Mediano	No existe
20+900	Mediano	Alto	Mediano	No existe
21+000	Mediano	Alto	Mediano	No existe
21+100	Alto	Alto	Mediano	No existe
21+200	Mediano	Medio	Mediano	No existe
21+300	Mediano	Alto	Mediano	No existe
21+400	Mediano	Alto	Mediano	No existe
21+500	Alto	Alto	Mediano	No existe
21+600	Mediano	Alto	Mediano	No existe
21+700	Mediano	Alto	Alto	No existe
21+800	Mediano	Alto	Mediano	No existe
21+840	Mediano	Alto	Mediano	No existe

En este tramo predominan deterioros tipo fisuración en bloque y piel de cocodrilo, donde las áreas totales de daños oscilan entre el 60% y 80%.

En las Figuras 10, 11 y 12 se aprecia un resumen de las patologías encontradas con su severidad y porcentaje de área afectada.

**Figura 10. Porcentaje de Área Afectada con Piel de Cocodrilo**



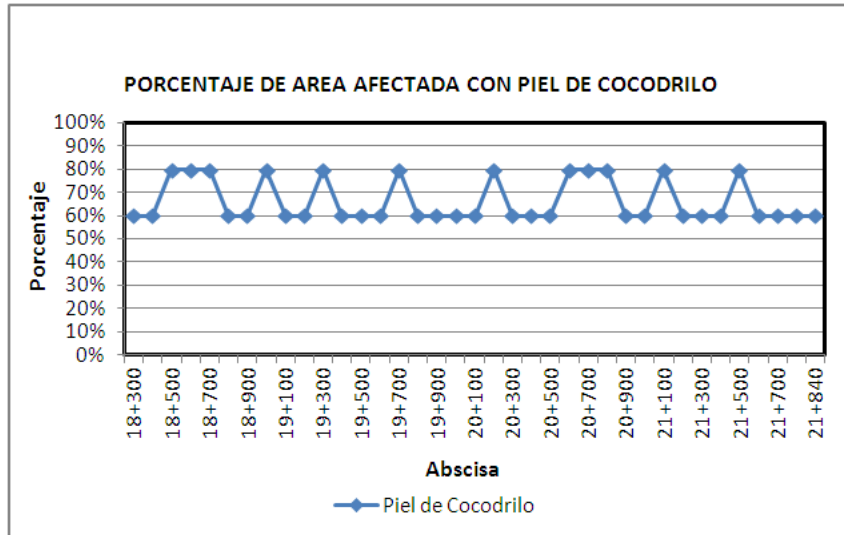


Figura 11. Porcentaje de Área Afectada con Fisuración en Bloque

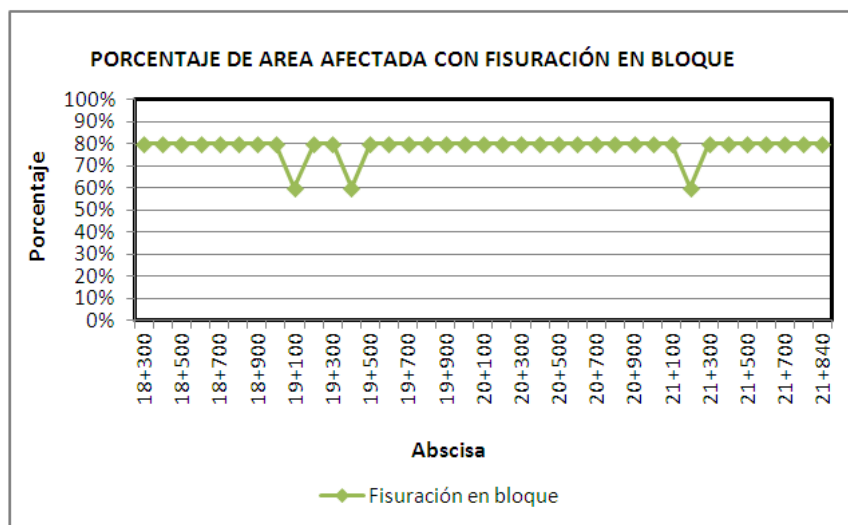
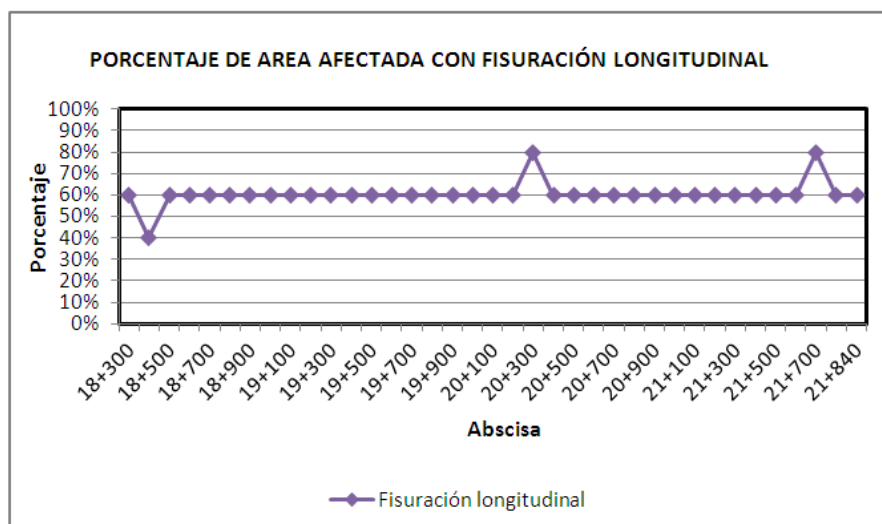


Figura 12. Porcentaje de Área Afectada con Fisuración Longitudinal



Como actividad complementaria a la inspección visual, se extrajeron núcleos sobre las fisuras existentes para observar el patrón de fisuración.

A continuación se observan las fotografías de los núcleos tomados (Fotografía No. 14 y No. 15) en el tramo, en donde se pudo observar, en general, que la fisuración actuante cubre la totalidad del espesor de capa asfáltica existente.

**Fotografía No. 14**



**Fotografía No. 15**



### **3.3 MEDIDA DE DEFLEXIONES**

#### **3.3.1 Pruebas en campo**

ITINERIS Gestión de Infraestructura S. A. S. elaboró la Evaluación Estructural del tramo denominado 5N: Guayllabamba – Tabacundo – Cayambe; a través de la medición de deflectometría. En nuestro estudio tomaremos la información obtenida para el tramo en estudio.

La medición con el deflectómetro de impacto valora la respuesta de la estructura del pavimento ante las cargas actuantes.

Las mediciones de deflectometría fueron tomadas en los meses de abril y mayo del año 2012, siendo ésta la época invernal, por lo que los resultados son los de la situación más crítica.

El equipo utilizado fue el FWD KUAB 50, que ha sido configurado para aplicar una carga de 40kN sobre el pavimento, generada por la caída de dos masas sobre un plato circular de 0,30 m de diámetro. Este impacto simula el paso de la rueda de un vehículo pesado y es registrado por un sensor ubicado en el centro del plato, durante el instante en que el disco cae sobre el pavimento.

Las deflexiones producidas son medidas por un grupo de siete (7) sismómetros espaciados entre sí cada 0,30 m, permitiendo la obtención de la curva completa del cuenco de deflexiones. Adicionalmente y para el posterior cálculo, el FWD posee un termómetro infrarrojo el cual registra automáticamente la temperatura de la superficie del pavimento, en el momento de la toma del punto de medición.

Las mediciones fueron recopiladas durante el día en el mes de abril del 2012, cuidando que la temperatura a la cual se realiza el ensayo no sobrepase los 35°C, tal como lo exigen las especificaciones de medición.

En cada punto de medición se realizan tres (3) golpes o mediciones, con el fin de asegurar la repetitividad de los resultados dentro de un rango de desviación aceptable. La distancia recorrida por el equipo es registrada por un odómetro, el cual indica la ubicación del punto a medir.

En la Tabla 6 se puede observar los resultados de las mediciones.

Los resultados de las mediciones han sido corregidos para la carga de 40 kN y se muestran los valores obtenidos en la Tabla No. 7.

**Tabla 6. Resultados de Mediciones de las Deflexiones**

ABSCISA	CARRIL	HORA DE MEDICIÓN	CARGA (Kn)	DEFLEXIONES (mm)						
				D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
KM 18+450	IZQUIERDO	23:50:34	40,20	211	153	98	69	46	33	25
KM 18+500	DERECHO	8:11:00	41,50	741	441	228	128	76	55	43
KM 18+550	IZQUIERDO	23:49:14	39,80	574	414	246	144	100	65	48
KM 18+600	DERECHO	8:13:53	41,60	446	329	213	128	83	56	43
KM 18+650	IZQUIERDO	23:47:50	40,20	557	417	245	151	65	40	32
KM 18+700	DERECHO	8:15:12	41,30	622	325	190	113	73	54	40
KM 18+750	IZQUIERDO	23:46:38	40,00	803	462	216	103	63	44	36
KM 18+800	DERECHO	8:16:36	40,90	777	530	278	161	82	59	47
KM 18+850	IZQUIERDO	23:45:29	39,90	864	558	220	108	64	50	41
KM 18+900	DERECHO	8:17:57	40,40	956	583	290	158	102	77	65
KM 18+950	IZQUIERDO	23:44:22	39,60	1.150	746	283	110	51	37	34
KM 19+000	DERECHO	8:19:41	40,60	1.067	768	372	208	90	49	32
KM 19+050	IZQUIERDO	23:41:52	39,90	434	300	150	81	49	36	30
KM 19+100	DERECHO	8:21:39	40,60	903	647	410	260	165	113	86
KM 19+150	IZQUIERDO	23:40:45	39,50	828	540	222	106	72	59	50
KM 19+200	DERECHO	8:23:10	40,70	993	785	439	300	212	160	124
KM 19+250	IZQUIERDO	23:39:31	39,70	793	572	377	219	143	86	64
KM 19+300	DERECHO	8:24:25	40,50	980	449	189	54	42	27	22
KM 19+350	IZQUIERDO	23:38:20	39,80	792	378	202	122	85	74	57
KM 19+400	DERECHO	8:25:42	40,60	964	580	217	133	89	66	53
KM 19+450	IZQUIERDO	23:37:03	40,00	714	463	155	82	60	43	36
KM 19+500	DERECHO	8:27:02	40,20	844	534	229	118	80	56	47
KM 19+550	IZQUIERDO	23:35:32	39,70	755	411	206	96	38	26	22
KM 19+600	DERECHO	8:28:31	40,40	599	346	164	53	26	19	18
KM 19+650	IZQUIERDO	23:31:40	39,00	1.003	762	253	132	63	48	43
KM 19+700	DERECHO	8:30:30	40,20	629	371	220	119	74	49	37
KM 19+750	IZQUIERDO	23:30:27	40,00	495	372	272	198	138	100	73
KM 19+800	DERECHO	8:31:44	40,60	456	304	151	62	33	16	9
KM 19+850	IZQUIERDO	23:29:09	39,00	1.197	912	570	359	220	139	107
KM 19+900	DERECHO	8:33:12	40,30	346	232	116	52	25	12	5
KM 19+950	IZQUIERDO	23:27:36	39,50	505	378	223	117	45	18	10
KM 20+000	DERECHO	8:34:39	40,30	467	296	132	53	24	17	13
KM 20+050	IZQUIERDO	23:22:17	40,40	557	381	216	121	63	35	22
KM 20+100	DERECHO	8:36:14	38,90	1.703	1.119	555	290	174	119	81
KM 20+150	IZQUIERDO	23:21:10	39,70	951	621	318	149	67	29	19
KM 20+200	DERECHO	8:37:42	40,00	726	464	233	107	55	33	19
KM 20+250	IZQUIERDO	23:19:49	40,20	187	133	94	68	53	40	32
KM 20+300	DERECHO	8:39:08	40,10	975	539	168	47	11	9	8
KM 20+350	IZQUIERDO	23:18:37	40,00	499	342	177	86	40	19	13
KM 20+400	DERECHO	8:40:32	40,10	867	454	197	109	73	57	46
KM 20+450	IZQUIERDO	23:17:22	39,90	588	385	205	99	51	29	21
KM 20+500	DERECHO	8:41:45	40,00	1.077	629	246	160	117	83	70
KM 20+550	IZQUIERDO	23:15:41	39,50	796	536	272	156	105	74	57
KM 20+600	DERECHO	8:43:06	40,30	489	282	154	83	51	37	30
KM 20+650	IZQUIERDO	23:14:15	39,50	303	205	103	55	30	18	14
KM 20+700	DERECHO	8:44:11	40,00	957	642	253	137	85	59	41
KM 20+750	IZQUIERDO	23:12:38	39,90	776	451	158	78	49	37	32
KM 20+800	DERECHO	8:45:22	39,50	1.025	675	253	87	41	33	28
KM 20+850	IZQUIERDO	23:11:25	39,90	565	325	145	72	47	32	24
KM 20+900	DERECHO	8:46:34	39,90	732	504	276	156	87	49	40
KM 20+950	IZQUIERDO	23:10:07	39,50	676	430	222	82	55	35	28
KM 21+000	DERECHO	8:47:52	40,10	635	411	242	132	90	67	57
KM 21+050	IZQUIERDO	23:07:23	39,60	939	557	280	142	97	76	62
KM 21+100	DERECHO	8:49:30	39,30	1.232	647	483	331	185	131	106
KM 21+150	IZQUIERDO	23:06:10	39,90	872	469	100	36	20	14	11
KM 21+200	DERECHO	8:50:48	39,10	1.522	1.005	415	152	77	67	52
KM 21+250	IZQUIERDO	23:04:46	40,20	583	300	109	51	36	31	21
KM 21+300	DERECHO	8:52:03	40,30	760	529	253	77	50	37	34
KM 21+350	IZQUIERDO	23:03:34	39,90	646	349	179	95	44	27	20
KM 21+400	DERECHO	8:53:14	39,90	671	369	164	63	32	24	22
KM 21+450	IZQUIERDO	23:02:26	39,70	342	249	146	84	47	31	22
KM 21+500	DERECHO	8:55:33	39,50	1.040	681	311	145	76	50	34
KM 21+550	IZQUIERDO	23:01:16	40,30	598	345	138	50	20	9	7
KM 21+600	DERECHO	8:56:49	39,50	1.132	879	579	367	223	145	106
KM 21+650	IZQUIERDO	22:59:44	40,40	382	249	142	83	58	42	34
KM 21+700	DERECHO	8:58:00	39,40	523	351	165	93	57	35	30
KM 21+750	IZQUIERDO	22:58:27	39,80	636	427	191	109	62	44	35
KM 21+800	DERECHO	8:59:07	40,10	633	438	226	115	66	47	37

Fuente: **Evaluación Funcional y Estructural de Tramos Prioritarios, ITINERIS Gestión de Infraestructura S. A. S.**

**Tabla 7. Resultados de Mediciones de las Deflexiones corregidas por Carga (40 kN)**

ABSCISA	CARRIL	HORA DE MEDICIÓN	Corrección por carga						
			D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
KM 18+450	IZQUIERDO	23:50:34	210	152	98	69	153	110	83
KM 18+500	DERECHO	8:11:00	714	425	220	123	253	183	143
KM 18+550	IZQUIERDO	23:49:14	577	416	247	145	333	217	160
KM 18+600	DERECHO	8:13:53	429	316	205	123	255	172	132
KM 18+650	IZQUIERDO	23:47:50	554	415	244	150	217	133	107
KM 18+700	DERECHO	8:15:12	602	315	184	109	243	180	133
KM 18+750	IZQUIERDO	23:46:38	803	462	216	103	210	147	120
KM 18+800	DERECHO	8:16:36	760	518	272	157	273	197	157
KM 18+850	IZQUIERDO	23:45:29	866	559	221	108	213	167	137
KM 18+900	DERECHO	8:17:57	947	577	287	156	314	237	200
KM 18+950	IZQUIERDO	23:44:22	1.162	754	286	111	170	123	113
KM 19+000	DERECHO	8:19:41	1.051	757	367	205	277	151	98
KM 19+050	IZQUIERDO	23:41:52	435	301	150	81	163	120	100
KM 19+100	DERECHO	8:21:39	890	637	404	256	550	377	287
KM 19+150	IZQUIERDO	23:40:45	838	547	225	107	240	197	167
KM 19+200	DERECHO	8:23:10	976	771	431	295	652	492	382
KM 19+250	IZQUIERDO	23:39:31	799	576	380	221	477	287	213
KM 19+300	DERECHO	8:24:25	968	443	187	53	129	83	68
KM 19+350	IZQUIERDO	23:38:20	796	380	203	123	283	247	190
KM 19+400	DERECHO	8:25:42	950	571	214	131	274	203	163
KM 19+450	IZQUIERDO	23:37:03	714	463	155	82	200	143	120
KM 19+500	DERECHO	8:27:02	840	531	228	117	246	172	145
KM 19+550	IZQUIERDO	23:35:32	761	414	208	97	127	87	73
KM 19+600	DERECHO	8:28:31	593	343	162	52	80	58	55
KM 19+650	IZQUIERDO	23:31:40	1.029	782	259	135	210	160	143
KM 19+700	DERECHO	8:30:30	626	369	219	118	228	151	114
KM 19+750	IZQUIERDO	23:30:27	495	372	272	198	425	308	225
KM 19+800	DERECHO	8:31:44	449	300	149	61	102	49	28
KM 19+850	IZQUIERDO	23:29:09	1.228	935	585	368	733	463	357
KM 19+900	DERECHO	8:33:12	343	230	115	52	77	37	15
KM 19+950	IZQUIERDO	23:27:36	511	383	226	118	138	55	31
KM 20+000	DERECHO	8:34:39	464	294	131	53	69	49	37
KM 20+050	IZQUIERDO	23:22:17	551	377	214	120	210	117	73
KM 20+100	DERECHO	8:36:14	1.751	1.151	571	298	497	340	231
KM 20+150	IZQUIERDO	23:21:10	958	626	320	150	206	89	58
KM 20+200	DERECHO	8:37:42	726	464	233	107	157	94	54
KM 20+250	IZQUIERDO	23:19:49	186	132	94	68	163	123	98
KM 20+300	DERECHO	8:39:08	973	538	168	47	31	26	23
KM 20+350	IZQUIERDO	23:18:37	499	342	177	86	123	58	40
KM 20+400	DERECHO	8:40:32	865	453	197	109	209	163	131
KM 20+450	IZQUIERDO	23:17:22	589	386	206	99	157	89	65
KM 20+500	DERECHO	8:41:45	1.077	629	246	160	334	237	200
KM 20+550	IZQUIERDO	23:15:41	806	543	275	158	323	228	175
KM 20+600	DERECHO	8:43:06	485	280	153	82	146	106	86
KM 20+650	IZQUIERDO	23:14:15	307	208	104	56	92	55	43
KM 20+700	DERECHO	8:44:11	957	642	253	137	243	169	117
KM 20+750	IZQUIERDO	23:12:38	778	452	158	78	163	123	107
KM 20+800	DERECHO	8:45:22	1.038	684	256	88	117	94	80
KM 20+850	IZQUIERDO	23:11:25	566	326	145	72	157	107	80
KM 20+900	DERECHO	8:46:34	734	505	277	156	249	140	114
KM 20+950	IZQUIERDO	23:10:07	685	435	225	83	169	108	86
KM 21+000	DERECHO	8:47:52	633	410	241	132	257	191	163

### 3.3.2 Medida de la temperatura del pavimento

En la Tabla No. 18 se muestran las medidas de la temperatura del ambiente y las medidas de la temperatura superficial del pavimento.

**Tabla 8. Medida de la temperatura superficial del Pavimento y Medida de la Temperatura del Aire**

ABSCISA	CARRIL	HORA DE MEDICIÓN	TEMPERATURA AIRE (°C)	TEMPERATURA PAVIMENTO (°C)
KM 18+450	IZQUIERDO	23:50:34	12,00	20,00
KM 18+500	DERECHO	8:11:00	12,00	15,00
KM 18+550	IZQUIERDO	23:49:14	12,00	19,00
KM 18+600	DERECHO	8:13:53	13,00	15,00
KM 18+650	IZQUIERDO	23:47:50	12,00	19,00
KM 18+700	DERECHO	8:15:12	12,00	15,00
KM 18+750	IZQUIERDO	23:46:38	12,00	19,00
KM 18+800	DERECHO	8:16:36	12,00	15,00
KM 18+850	IZQUIERDO	23:45:29	12,00	19,00
KM 18+900	DERECHO	8:17:57	13,00	15,00
KM 18+950	IZQUIERDO	23:44:22	12,00	18,00
KM 19+000	DERECHO	8:19:41	13,00	15,00
KM 19+050	IZQUIERDO	23:41:52	12,00	20,00
KM 19+100	DERECHO	8:21:39	12,00	15,00
KM 19+150	IZQUIERDO	23:40:45	12,00	21,00
KM 19+200	DERECHO	8:23:10	13,00	16,00
KM 19+250	IZQUIERDO	23:39:31	12,00	21,00
KM 19+300	DERECHO	8:24:25	13,00	16,00
KM 19+350	IZQUIERDO	23:38:20	12,00	20,00
KM 19+400	DERECHO	8:25:42	13,00	16,00
KM 19+450	IZQUIERDO	23:37:03	12,00	21,00
KM 19+500	DERECHO	8:27:02	13,00	16,00
KM 19+550	IZQUIERDO	23:35:32	12,00	20,00
KM 19+600	DERECHO	8:28:31	13,00	16,00
KM 19+650	IZQUIERDO	23:31:40	12,00	21,00
KM 19+700	DERECHO	8:30:30	13,00	16,00
KM 19+750	IZQUIERDO	23:30:27	13,00	21,00
KM 19+800	DERECHO	8:31:44	13,00	16,00
KM 19+850	IZQUIERDO	23:29:09	12,00	21,00
KM 19+900	DERECHO	8:33:12	13,00	17,00
KM 19+950	IZQUIERDO	23:27:36	13,00	20,00
KM 20+000	DERECHO	8:34:39	14,00	16,00
KM 20+050	IZQUIERDO	23:22:17	12,00	21,00
KM 20+100	DERECHO	8:36:14	14,00	17,00
KM 20+150	IZQUIERDO	23:21:10	13,00	20,00
KM 20+200	DERECHO	8:37:42	14,00	17,00
KM 20+250	IZQUIERDO	23:19:49	13,00	20,00
KM 20+300	DERECHO	8:39:08	14,00	17,00
KM 20+350	IZQUIERDO	23:18:37	13,00	20,00
KM 20+400	DERECHO	8:40:32	14,00	17,00
KM 20+450	IZQUIERDO	23:17:22	13,00	20,00
KM 20+500	DERECHO	8:41:45	14,00	17,00
KM 20+550	IZQUIERDO	23:15:41	13,00	20,00
KM 20+600	DERECHO	8:43:06	14,00	18,00
KM 20+650	IZQUIERDO	23:14:15	13,00	20,00
KM 20+700	DERECHO	8:44:11	14,00	18,00
KM 20+750	IZQUIERDO	23:12:38	12,00	20,00
KM 20+800	DERECHO	8:45:22	14,00	18,00
KM 20+850	IZQUIERDO	23:11:25	12,00	20,00
KM 20+900	DERECHO	8:46:34	14,00	18,00
KM 20+950	IZQUIERDO	23:10:07	13,00	20,00
KM 21+000	DERECHO	8:47:52	14,00	18,00
KM 21+050	IZQUIERDO	23:07:23	13,00	20,00
KM 21+100	DERECHO	8:49:30	14,00	18,00
KM 21+150	IZQUIERDO	23:06:10	13,00	20,00
KM 21+200	DERECHO	8:50:48	14,00	18,00
KM 21+250	IZQUIERDO	23:04:46	12,00	20,00
KM 21+300	DERECHO	8:52:03	14,00	18,00
KM 21+350	IZQUIERDO	23:03:34	12,00	20,00
KM 21+400	DERECHO	8:53:14	14,00	18,00
KM 21+450	IZQUIERDO	23:02:26	12,00	20,00
KM 21+500	DERECHO	8:55:33	15,00	18,00
KM 21+550	IZQUIERDO	23:01:16	13,00	20,00
KM 21+600	DERECHO	8:56:49	15,00	18,00
KM 21+650	IZQUIERDO	22:59:44	12,00	20,00
KM 21+700	DERECHO	8:58:00	15,00	19,00
KM 21+750	IZQUIERDO	22:58:27	12,00	20,00
KM 21+800	DERECHO	8:59:07	16,00	19,00

Fuente: **Evaluación Funcional y Estructural de Tramos Prioritarios, ITINERIS Gestión de Infraestructura S. A. S.**



### 3.3.3 Corrección de temperatura del pavimento

El Instituto del Asfalto establece un método para la corrección de las deflexiones en función de la temperatura de la capa asfáltica. El procedimiento consiste en:

#### 3.3.3.1 Determinar la temperatura promedio de la capa asfáltica:

Para ello se supone un gradiente lineal de temperatura; por lo tanto, la temperatura media de la capa asfáltica será el promedio entre la temperatura superficial y la de la fibra inferior. La temperatura del pavimento viene dada por la ecuación siguiente:

$$t_{pavimento} = \frac{1}{2}(t_{sup.pav} + t_{inf.pav})$$

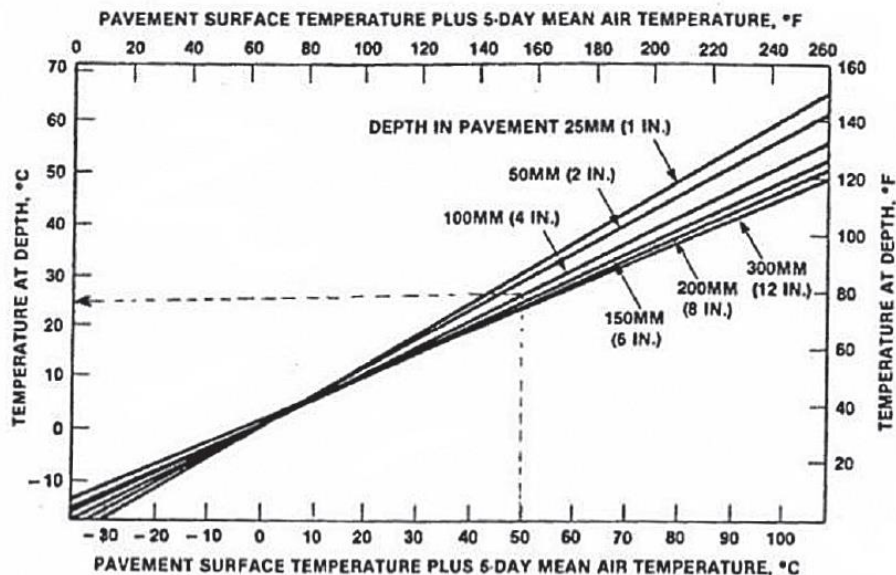
Donde:

$t_{pavimento}$ : temperatura promedio del pavimento (°C)

$t_{sup.pav}$ : temperatura de la superficie del pavimento en el ensayo (°C)

$t_{inf.pav}$ : temperatura en la fibra inferior del pavimento (°C), estimada de la Figura 13.

Figura 13. Temperatura en función del espesor de la capa asfáltica



(Fuente: The Asphalt Institute, s.f.).

Para la obtención de la temperatura en la fibra inferior del pavimento (°C), es necesario conocer la temperatura superficial del pavimento a la hora de la

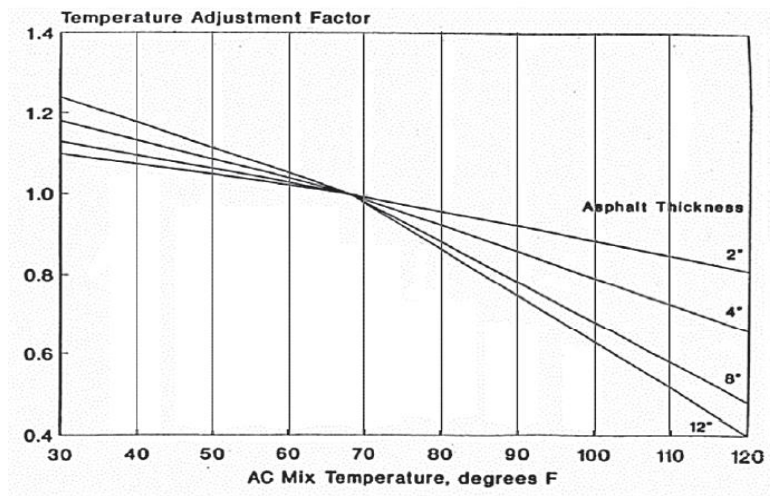


medición de la deflexión y la temperatura media del aire de los 5 días previos al ensayo, así como el espesor de la capa asfáltica.

### 3.3.3.2 Determinar el factor de corrección por temperatura:

Utilizando el valor de la temperatura promedio de la capa calculado anteriormente, se determina el factor de corrección por temperatura, para ello se utilizó la Figura 14, conforme a lo establecido en el método de la AASHTO, 1993.

**Figura 14. Factor de corrección por temperatura en función del espesor de la capa asfáltica.**



(Fuente: AASHTO, 1993.)

Finalmente, la deflexión máxima corregida de la deflectometría de impacto es calculada utilizando la ecuación siguiente:

$$d_{\max 20^{\circ}\text{C}} = d_{\max \text{ ensayo}} \cdot F_{\text{ajtemp}}$$

Donde:

$d_{\max 20^{\circ}\text{C}}$  : deflexión corregida a la temperatura estándar de 20°C

$d_{\max \text{ ensayo}}$ : deflexión medida a la temperatura superficial del pavimento en el ensayo

$F_{\text{ajtemp}}$ : factor de ajuste por temperatura

En la Tabla 9 se muestra el resultado de las deflexiones corregidas por temperatura.

**Tabla 9. Corrección  $d_0$  de temperatura del pavimento**

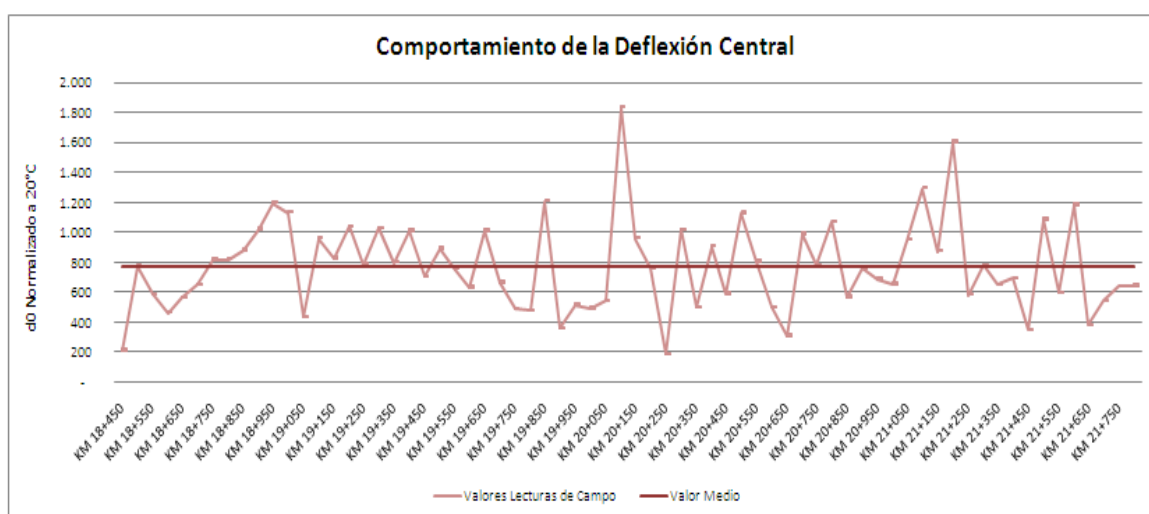
ABSCISA	CARRIL	TEMPERATURA AIRE (°C)	TEMPERATURA PAVIMENTO (°C)	DEFLEXIONES (mm)			ESPESORES PAVIMENTO	CORRECIÓN POR TEMPERATURA		
				D0	D1	D2		D0	D1	D2
KM 18+450	IZQUIERDO	12,00	20,00	211	153	98	16,00	210	152	97
KM 18+500	DERECHO	12,00	15,00	741	441	228	16,00	770	458	237
KM 18+550	IZQUIERDO	12,00	19,00	574	414	246	16,00	586	422	251
KM 18+600	DERECHO	13,00	15,00	446	329	213	16,00	462	341	221
KM 18+650	IZQUIERDO	12,00	19,00	557	417	245	16,00	563	421	247
KM 18+700	DERECHO	12,00	15,00	622	325	190	16,00	649	339	198
KM 18+750	IZQUIERDO	12,00	19,00	803	462	216	16,00	815	469	219
KM 18+800	DERECHO	12,00	15,00	777	530	278	16,00	819	559	293
KM 18+850	IZQUIERDO	12,00	19,00	864	558	220	16,00	879	568	224
KM 18+900	DERECHO	13,00	15,00	956	583	290	16,00	1.020	622	310
KM 18+950	IZQUIERDO	12,00	18,00	1.150	746	283	16,00	1.198	777	295
KM 19+000	DERECHO	13,00	15,00	1.067	768	372	16,00	1.133	816	395
KM 19+050	IZQUIERDO	12,00	20,00	434	300	150	16,00	435	301	150
KM 19+100	DERECHO	12,00	15,00	903	647	410	16,00	959	687	435
KM 19+150	IZQUIERDO	12,00	21,00	828	540	222	16,00	824	538	221
KM 19+200	DERECHO	13,00	16,00	993	785	439	16,00	1.037	820	458
KM 19+250	IZQUIERDO	12,00	21,00	793	572	377	16,00	786	567	373
KM 19+300	DERECHO	13,00	16,00	980	449	189	16,00	1.028	471	198
KM 19+350	IZQUIERDO	12,00	20,00	792	378	202	16,00	796	380	203
KM 19+400	DERECHO	13,00	16,00	964	580	217	16,00	1.009	607	227
KM 19+450	IZQUIERDO	12,00	21,00	714	463	155	16,00	702	455	152
KM 19+500	DERECHO	13,00	16,00	844	534	229	16,00	892	564	242
KM 19+550	IZQUIERDO	12,00	20,00	755	411	206	16,00	760	414	207
KM 19+600	DERECHO	13,00	16,00	599	346	164	16,00	630	364	172
KM 19+650	IZQUIERDO	12,00	21,00	1.003	762	253	16,00	1.011	768	255
KM 19+700	DERECHO	13,00	16,00	629	371	220	16,00	665	392	233
KM 19+750	IZQUIERDO	13,00	21,00	495	372	272	16,00	487	366	267
KM 19+800	DERECHO	13,00	16,00	456	304	151	16,00	477	318	158
KM 19+850	IZQUIERDO	12,00	21,00	1.197	912	570	16,00	1.207	920	575
KM 19+900	DERECHO	13,00	17,00	346	232	116	16,00	359	241	121
KM 19+950	IZQUIERDO	13,00	20,00	505	378	223	16,00	511	383	226
KM 20+000	DERECHO	14,00	16,00	467	296	132	16,00	492	312	139
KM 20+050	IZQUIERDO	12,00	21,00	557	381	216	16,00	542	371	210
KM 20+100	DERECHO	14,00	17,00	1.703	1.119	555	16,00	1.833	1.204	597
KM 20+150	IZQUIERDO	13,00	20,00	951	621	318	16,00	958	625	320
KM 20+200	DERECHO	14,00	17,00	726	464	233	16,00	760	486	244
KM 20+250	IZQUIERDO	13,00	20,00	187	133	94	16,00	186	132	93
KM 20+300	DERECHO	14,00	17,00	975	539	168	16,00	1.018	563	175
KM 20+350	IZQUIERDO	13,00	20,00	499	342	177	16,00	499	342	177
KM 20+400	DERECHO	14,00	17,00	867	454	197	16,00	905	474	206
KM 20+450	IZQUIERDO	13,00	20,00	588	385	205	16,00	589	386	205
KM 20+500	DERECHO	14,00	17,00	1.077	629	246	16,00	1.127	658	257
KM 20+550	IZQUIERDO	13,00	20,00	796	536	272	16,00	806	543	275
KM 20+600	DERECHO	14,00	18,00	489	282	154	16,00	500	289	158
KM 20+650	IZQUIERDO	13,00	20,00	303	205	103	16,00	307	207	104
KM 20+700	DERECHO	14,00	18,00	957	642	253	16,00	987	662	261
KM 20+750	IZQUIERDO	12,00	20,00	776	451	158	16,00	778	452	158
KM 20+800	DERECHO	14,00	18,00	1.025	675	253	16,00	1.070	705	264
KM 20+850	IZQUIERDO	12,00	20,00	565	325	145	16,00	566	326	145
KM 20+900	DERECHO	14,00	18,00	732	504	276	16,00	757	521	285
KM 20+950	IZQUIERDO	13,00	20,00	676	430	222	16,00	684	435	225
KM 21+000	DERECHO	14,00	18,00	635	411	242	16,00	653	423	249
KM 21+050	IZQUIERDO	13,00	20,00	939	557	280	16,00	948	562	283
KM 21+100	DERECHO	14,00	18,00	1.232	647	483	16,00	1.293	679	507
KM 21+150	IZQUIERDO	13,00	20,00	872	469	100	16,00	874	470	100
KM 21+200	DERECHO	14,00	18,00	1.522	1.005	415	16,00	1.605	1.060	438
KM 21+250	IZQUIERDO	12,00	20,00	583	300	109	16,00	580	298	108
KM 21+300	DERECHO	14,00	18,00	760	529	253	16,00	778	541	259
KM 21+350	IZQUIERDO	12,00	20,00	646	349	179	16,00	647	350	179
KM 21+400	DERECHO	14,00	18,00	671	369	164	16,00	693	381	169
KM 21+450	IZQUIERDO	12,00	20,00	342	249	146	16,00	344	251	147
KM 21+500	DERECHO	15,00	18,00	1.040	681	311	16,00	1.086	711	325
KM 21+550	IZQUIERDO	13,00	20,00	598	345	138	16,00	593	342	137
KM 21+600	DERECHO	15,00	18,00	1.132	879	579	16,00	1.182	918	604
KM 21+650	IZQUIERDO	12,00	20,00	382	249	142	16,00	378	246	141
KM 21+700	DERECHO	15,00	19,00	523	351	165	16,00	539	362	170
KM 21+750	IZQUIERDO	12,00	20,00	636	427	191	16,00	639	429	192
KM 21+800	DERECHO	16,00	19,00	633	438	226	16,00	641	444	229

### 3.3.4 Evaluación Deflectométrica Cualitativa

A grandes rasgos, la deflexión central generalmente muestra valores entre 200 y 1800 micrones, indicando de antemano una gran heterogeneidad de comportamientos. Los sectores con valores de deflexión superiores a 500  $\mu\text{m}$ , evidencian deficiencia estructural de la estructura respecto al resto del tramo.

La deflexión máxima promedio calculada es de 771  $\mu\text{m}$ , condición cualitativa “mala” (Figura 15).

Figura 15. Comportamiento de la Deflexión Central ( $\mu\text{m}$ )



Los parámetros cualitativos utilizados para medir la condición relativa del pavimento han sido formulados bajo los criterios descritos en las Tablas 10 y 11.

Tabla 10. Parámetros empleados para la Evaluación Deflectométrica Cualitativa

Parámetro	Fórmula	Indicador
Índice de curvatura superficial	$ICS = d_0 - d_{300}$	Junto con otros parámetros, proporciona una idea sobre la rigidez de las capas asfálticas
Índice de daño de la base	$IDB = d_{300} - d_{600}$	Deformación compresiva sobre las capas de apoyo de las capas asfálticas
Índice de curvatura de la base	$ICB = d_{600} - d_{900}$	Deformación compresiva sobre la subrasante

Fuente: Evaluación Funcional y Estructural de Tramos Prioritarios, ITINERIS Gestión de Infraestructura S. A. S.

**Tabla 11. Parámetros Evaluación Deflectométrica Cualitativa**

Tipo de Base	Condición Estructural	$d_0$ ( $\mu\text{m}$ )	ICS ( $\mu\text{m}$ )	IDB ( $\mu\text{m}$ )	ICB ( $\mu\text{m}$ )
Granular	Buena	< 500	< 200	< 100	< 50
	Regular	500 - 750	200 - 400	100 - 200	50 - 100
	Mala	> 750	> 400	> 200	> 100
Cementada	Buena	< 200	< 100	< 50	< 40
	Regular	200 – 400	100 – 300	50 – 100	40 – 80
	Mala	> 400	> 300	>100	> 80
Bituminosa	Buena	< 400	< 200	< 100	< 50
	Regular	400 – 600	200 – 400	100 – 150	50 – 80
	Mala	> 600	> 400	> 150	> 80

Fuente: **Evaluación Funcional y Estructural de Tramos Prioritarios, ITINERIS Gestión de Infraestructura S. A. S.**

Donde:

$d_0$ : deflexión máxima

ICS: Índice de curvatura superficial, característico de las capas superficiales

IDB: Índice de daño de la base, característico de las capas de apoyo de la capa asfáltica.

ICB: Índice de curvatura de la base, característico de la fundación.

En la Tabla 12 se muestra el detalle de la Evaluación Deflectométrica Cualitativa.

A grandes rasgos, la deflexión máxima en el tramo de estudio es mayor a 500  $\mu\text{m}$ , lo cual muestra deficiencia estructural.

El ICS indica, en general, una condición cualitativa “Regular”

En cuanto al comportamiento exhibido por el IDB, se aprecian valores que a nivel general, se ubica en el intervalo de “Malo”.

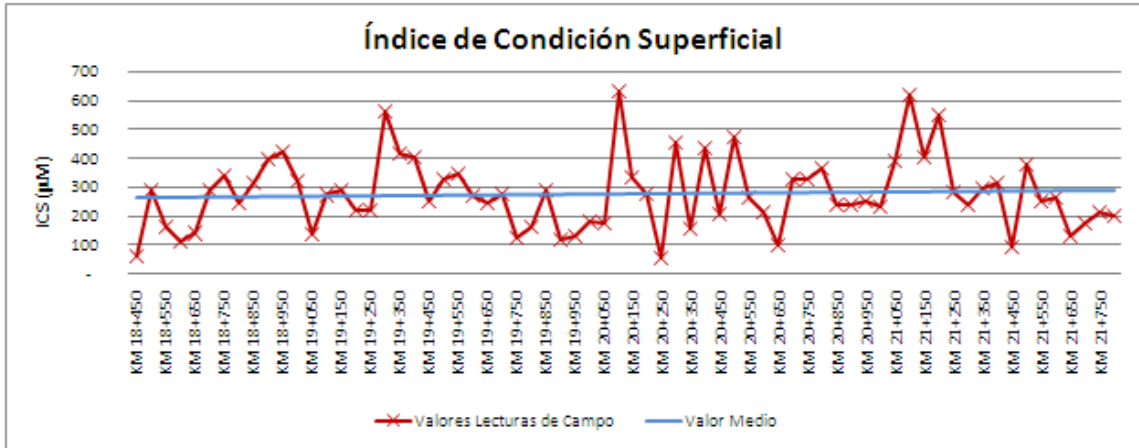
Por su parte, el comportamiento del material de fundación o subrasante, valorado a partir del ICB, presenta valores en general dentro del intervalo de calificación “Mala”.

Tabla 12. Evaluación Deflectométrica Cualitativa

ABSCISA	CARRIL	D0	D1	D2	D3	ICS = d0-d300		IDB=d300-d600		ICB=d600-d900	
						Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
KM 18+450	IZQUIERDO	210	152	98	69	58	bueno	55	bueno	29	bueno
KM 18+500	DERECHO	714	425	220	123	289	regular	205	malo	96	regular
KM 18+550	IZQUIERDO	577	416	247	145	161	bueno	169	regular	103	malo
KM 18+600	DERECHO	429	316	205	123	113	bueno	112	regular	82	regular
KM 18+650	IZQUIERDO	554	415	244	150	139	bueno	171	regular	94	regular
KM 18+700	DERECHO	602	315	184	109	288	regular	131	regular	75	regular
KM 18+750	IZQUIERDO	803	462	216	103	341	regular	246	malo	113	malo
KM 18+800	DERECHO	760	518	272	157	242	regular	246	malo	114	malo
KM 18+850	IZQUIERDO	866	559	221	108	311	regular	339	malo	112	malo
KM 18+900	DERECHO	947	577	287	156	398	regular	290	malo	131	malo
KM 18+950	IZQUIERDO	1.162	754	286	111	421	malo	468	malo	175	malo
KM 19+000	DERECHO	1.051	757	367	205	317	regular	390	malo	162	malo
KM 19+050	IZQUIERDO	435	301	150	81	134	bueno	150	regular	69	regular
KM 19+100	DERECHO	890	637	404	256	272	regular	233	malo	148	malo
KM 19+150	IZQUIERDO	838	547	225	107	286	regular	322	malo	117	malo
KM 19+200	DERECHO	976	771	431	295	217	regular	340	malo	137	malo
KM 19+250	IZQUIERDO	799	576	380	221	219	regular	196	regular	159	malo
KM 19+300	DERECHO	968	443	187	53	557	malo	257	malo	133	malo
KM 19+350	IZQUIERDO	796	380	203	123	416	malo	177	regular	80	regular
KM 19+400	DERECHO	950	571	214	131	402	malo	358	malo	83	regular
KM 19+450	IZQUIERDO	714	463	155	82	247	regular	308	malo	73	regular
KM 19+500	DERECHO	840	531	228	117	328	regular	303	malo	110	malo
KM 19+550	IZQUIERDO	761	414	208	97	346	regular	207	malo	111	malo
KM 19+600	DERECHO	593	343	162	52	266	regular	180	regular	110	malo
KM 19+650	IZQUIERDO	1.029	782	259	135	243	regular	522	malo	124	malo
KM 19+700	DERECHO	626	369	219	118	273	regular	150	regular	100	malo
KM 19+750	IZQUIERDO	495	372	272	198	121	bueno	100	regular	74	regular
KM 19+800	DERECHO	449	300	149	61	159	bueno	151	regular	88	regular
KM 19+850	IZQUIERDO	1.228	935	585	368	287	regular	351	malo	216	malo
KM 19+900	DERECHO	343	230	115	52	118	bueno	115	regular	64	regular
KM 19+950	IZQUIERDO	511	383	226	118	128	bueno	157	regular	107	malo
KM 20+000	DERECHO	464	294	131	53	180	bueno	163	regular	78	regular
KM 20+050	IZQUIERDO	551	377	214	120	171	bueno	163	regular	94	regular
KM 20+100	DERECHO	1.751	1.151	571	298	629	malo	580	malo	272	malo
KM 20+150	IZQUIERDO	958	626	320	150	333	regular	305	malo	170	malo
KM 20+200	DERECHO	726	464	233	107	274	regular	231	malo	126	malo
KM 20+250	IZQUIERDO	186	132	94	68	54	bueno	39	bueno	26	bueno
KM 20+300	DERECHO	973	538	168	47	455	malo	370	malo	121	malo
KM 20+350	IZQUIERDO	499	342	177	86	157	bueno	165	regular	91	regular
KM 20+400	DERECHO	865	453	197	109	431	malo	256	malo	88	regular
KM 20+450	IZQUIERDO	589	386	206	99	203	regular	180	regular	106	malo
KM 20+500	DERECHO	1.077	629	246	160	469	malo	383	malo	86	regular
KM 20+550	IZQUIERDO	806	543	275	158	263	regular	267	malo	117	malo
KM 20+600	DERECHO	485	280	153	82	211	regular	127	regular	70	regular
KM 20+650	IZQUIERDO	307	208	104	56	100	bueno	103	regular	49	bueno
KM 20+700	DERECHO	957	642	253	137	325	regular	389	malo	116	malo
KM 20+750	IZQUIERDO	778	452	158	78	326	regular	294	malo	80	regular
KM 20+800	DERECHO	1.038	684	256	88	365	regular	427	malo	168	malo
KM 20+850	IZQUIERDO	566	326	145	72	240	regular	180	regular	73	regular
KM 20+900	DERECHO	734	505	277	156	236	regular	229	malo	120	malo
KM 20+950	IZQUIERDO	685	435	225	83	249	regular	211	malo	142	malo
KM 21+000	DERECHO	633	410	241	132	230	regular	169	regular	110	malo
KM 21+050	IZQUIERDO	948	563	283	143	386	regular	280	malo	139	malo
KM 21+100	DERECHO	1.254	659	492	337	614	malo	167	regular	155	malo
KM 21+150	IZQUIERDO	874	470	100	36	404	malo	370	malo	64	regular
KM 21+200	DERECHO	1.557	1.028	425	155	545	malo	604	malo	269	malo
KM 21+250	IZQUIERDO	580	299	108	51	282	regular	190	regular	58	regular
KM 21+300	DERECHO	754	525	251	76	237	regular	274	malo	175	malo
KM 21+350	IZQUIERDO	648	350	179	95	297	regular	170	regular	84	regular
KM 21+400	DERECHO	673	370	164	63	312	regular	206	malo	101	malo
KM 21+450	IZQUIERDO	345	251	147	85	93	bueno	104	regular	62	regular
KM 21+500	DERECHO	1.053	690	315	147	375	regular	375	malo	168	malo
KM 21+550	IZQUIERDO	594	342	137	50	251	regular	205	malo	87	regular
KM 21+600	DERECHO	1.146	890	586	372	264	regular	304	malo	215	malo
KM 21+650	IZQUIERDO	378	247	141	82	132	bueno	106	regular	58	regular
KM 21+700	DERECHO	531	356	168	94	177	bueno	189	regular	73	regular
KM 21+750	IZQUIERDO	639	429	192	110	210	regular	237	malo	82	regular
KM 21+800	DERECHO	631	437	225	115	197	bueno	211	malo	111	malo

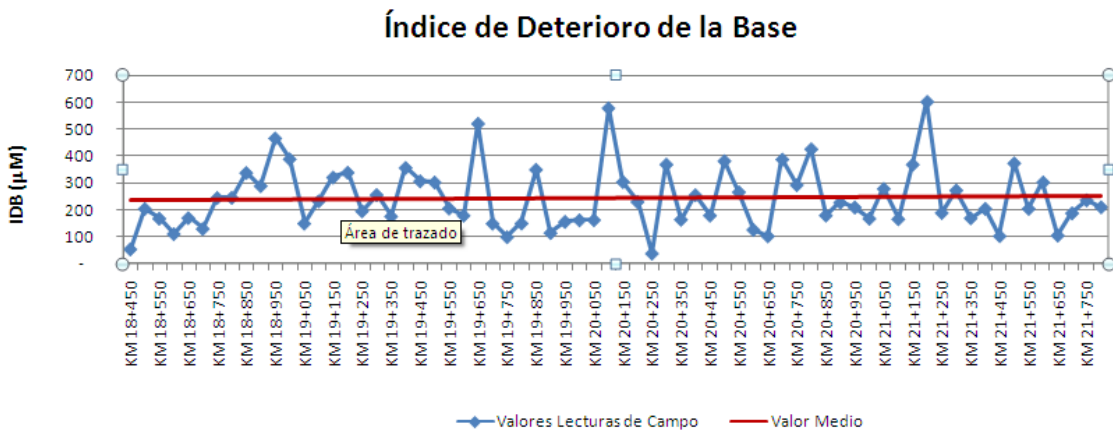
El ICS indica, en general una condición cualitativa “Regular” (Figura 16)

Figura 16. Índice de Condición Superficial



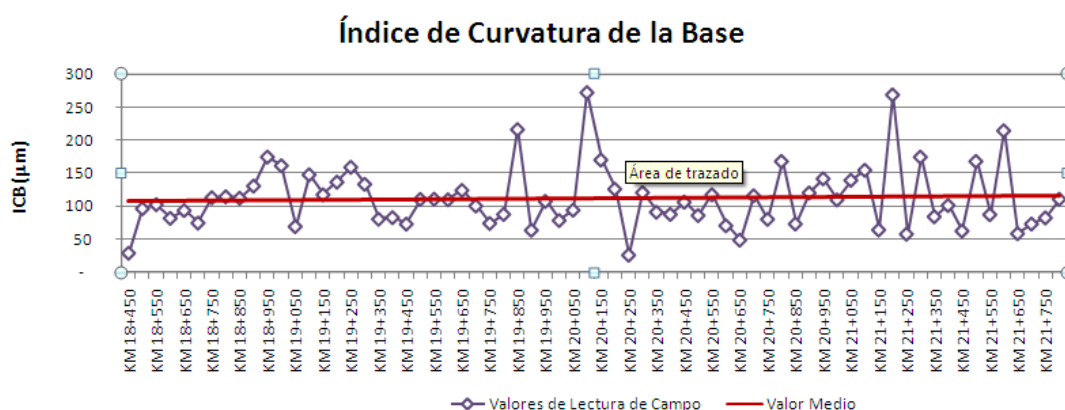
En cuanto al comportamiento exhibido por el IDB, se aprecian valores que a nivel general, se ubican en el intervalo de “Malo” (Figura 17)

Figura 17. Índice de Deterioro de la Base



Por su parte, el comportamiento del material de fundación o subrasante, valorado a partir del ICB, presenta valores en general dentro del intervalo de calificación “Mala” (Figura 18)

Figura 18. Índice de Curvatura de la Base



### 3.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Conforme el Estudio realizado por Geosuelos Cía. Ltda para evaluar las condiciones actuales in situ de la conformación de la estructura del pavimento del Tramo “Guayllabamba – Tabacundo – Cayambe”, basados en los resultados de los ensayos de campo y laboratorio realizados a lo largo de los tramos de la vía, se ha determinado la naturaleza de los estratos del subsuelo del proyecto, dando a conocer las características físicas y geomecánicas de los diferentes tipos de materiales recuperados en la subrasante y estructura del pavimento, evaluando sus propiedades índice – mecánicas, características de resistencia y deformabilidad, por medio de ensayos de campo y pruebas de laboratorio.

Para poder establecer las condiciones geotécnicas de la estructura del pavimento, Geosuelos ha realizado una campaña de exploración en cada km de acuerdo a las siguientes actividades:

#### 3.4.1 Ejecución de excavación a cielo abierto en cada Km.

Los registros de las calicatas realizadas en cada km se encuentran en el Anexo. No. 1



**Fotografía No. 16 Ejecución de calicatas**



### **3.4.2 Toma de densidades en cada una de las capas de la estructura del pavimento**

Los ensayos de densidad de campo para la capa granular (base) y subrasante se muestran en el Anexo No. 2

**Fotografía No. 17 Toma de densidades**



### **3.4.3 Toma de muestras integrales de cada capa que conforma el pavimento.**



### Fotografía No. 18 Extracción de Núcleos



ABS: 19+000 (B1) FRENTE

ABS: 19+000 (B1) IZQUIERDA

ABS: 19+000 (B1) DERECHA



ABS: 19+000 (B1) ATRÁS

ABS: 19+000 (B1) ARRIBA

De la recuperación e identificación de los núcleos tomados en la vía existente, y la observación visual nos permite describir las características predominantes de mezcla asfáltica y la conformación de varias capas de espesor variable.

La evaluación y caracterización de los espesores se muestran en detalle en la siguiente Tabla 13.

**Tabla 13. Espesores de las Capas de Pavimento**

SONDEO	ABSCISA	ESPESORES (m)			Profundidad de contacto con la subrasante (m)	Profundidad alcanzada en la investigación (m)
		Carpeta Asfáltica *		Materia l granular		
		B - 1	B-2			
C-19	Km 19	0,16	0,16	0,20	0,36	1,50
C-20	Km 20	0,18	0,15	0,20	0,37	1,20
C-21	Km 21	0,16	0,14	0,13	0,28	1,50

\*El espesor de carpeta asfáltica ha sido medido en las briquetas o núcleos extraídos. Se presentan 2 resultados pues en cada abscisa se obtuvieron 2 briquetas cada vez.

Fuente: **Evaluación Panamericana Tramo 5N, Geosuelos Cia. Ltda**

### 3.4.4 Identificación de espesores de las capas del pavimento

En la Tabla 14 se muestran los espesores considerados para el tramo en estudio.

**Tabla 14. Espesores Adoptados para los Análisis (cm)**

Capa	Espesor (cm)
Carpeta Asfáltica	16
Material Granular	18

De las observaciones realizadas y la toma de muestra integral recuperada durante los trabajos de campo, así como los resultados de laboratorio nos permiten caracterizar y definir las propiedades físicas y mecánicas de las capas granulares existentes en el tramo de vía en estudio.

### 3.4.5 Trabajo de laboratorio

#### 3.4.5.1 Ensayos de Clasificación SUCS

Las capas granulares están conformadas por limos arenosos (ML) y arenas limosas (SM).

Los resultados de ensayos se muestran en el Anexo No. 3.

El suelo de subrasante de forma general, está conformado por limos arenosos (ML), gravas bien gradadas con limo tipo (GW/GM), predominando arenas limosas (SM).

Los resultados de ensayos y resúmenes de muestras recuperadas en calicatas realizados en el tramo de vía en estudio se muestran en detalle en el Anexo No. 12.

### 3.4.5.2 Ensayos de CBR para base y subrasante

Los resultados de los ensayos de CBR para la base se muestran en el Anexo No. 7. El resumen de los resultados se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 15. CBR Base**

Abscisa	CBR
Km 19	27,05%
Km 20	41,08%
Km 21	35,60%

Fuente: **Evaluación Panamericana Tramo 5N, Geosuelos Cia. Ltda**

Los resultados de los ensayos de CBR para la subrasante se muestran en el Anexo No. 8. El resumen de los resultados se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16. CBR Subrasante**

Abscisa	CBR
Km 19	34.60%
Km 20	70,30%
Km 21	33,80%

Fuente: **Evaluación Panamericana Tramo 5N, Geosuelos Cia. Ltda**

### 3.4.5.3 Equivalente de Arena

Los resultados de los ensayos de Equivalente de Arena para la subrasante se muestran en el Anexo No. 9 El resumen de los resultados se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17. Equivalente de Arena**

Abscisa	Equivalente de Arena
Km 19	48,19%
Km 20	45,70%
Km 21	45,00%

Fuente: **Evaluación Panamericana Tramo 5N, Geosuelos Cia. Ltda**

#### **3.4.5.4 Ensayos de Granulometría de la Carpeta Asfáltica**

Los resultados de los ensayos se muestran en el Anexo No. 10

#### **3.4.5.5 Contenido Orgánico**

El material de subrasante no contiene materia orgánica. Los resultados de los ensayos por Km se muestran en el Anexo No. 11

#### **3.4.5.6 Resumen de Ensayos**

En el Anexo No.12 se muestra el resumen de los ensayos realizados para base y subrasante.

### **3.5 Análisis de los resultados y de la situación actual**

El pavimento presenta patologías características de la fatiga de las mezclas asfálticas existentes, con fisuras tipo bloque y piel de cocodrilo, en donde las áreas afectadas oscilan entre el 60 y 80%.

Las deflexiones, en particular, la deflexión central, exhibe un comportamiento concordante con los deterioros superficiales, en el tramo en estudio se presentan valores promedio de deflexión equivalentes a 771  $\mu\text{m}$  lo que equivale a una condición del pavimento cualitativa “mala”.

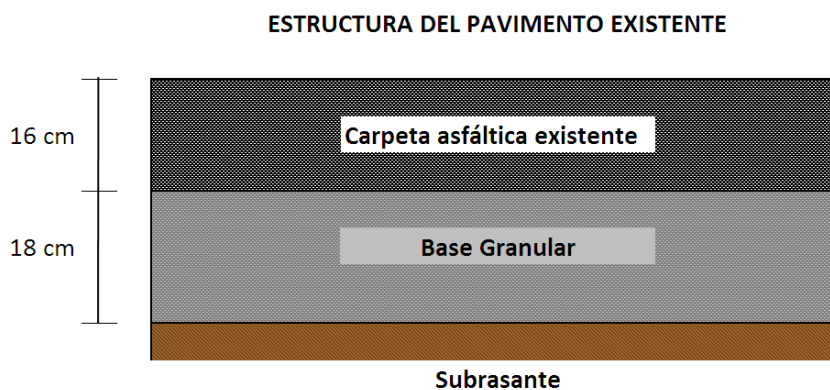
El Índice de Curvatura Superficial, característico de las capas superficiales muestra de manera general una condición cualitativa “regular”.

El Índice de daño de la base, característico de las capas de apoyo de la carpeta asfáltica presenta valores ubicados en el intervalo “malo”.

El comportamiento de la subrasante valorado a partir del índice de Curvatura de la Base, presenta valores en el rango de “malo”.

Debido a que existe incertidumbre acerca de la historia de intervención de las calzadas analizadas y, en especial, a que se conoce por parte de la CONCESIONARIA de la aplicación alternada de la solución de reciclado de capas asfálticas existentes mediante la adición de emulsión asfáltica, se decidió considerar la estructura del pavimento bajo la hipótesis de “**Estructura en dos capas**”, considerando una estructura compuesta en primer lugar por el conjunto de capas asfálticas y en segundo lugar el conjunto de granulares sobre la subrasante, conforme se presenta en la Figura No. 19

**Figura 19. Estructura existente adoptada**



### **3.6 DETERMINACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN**

Debido a la magnitud de las fallas encontradas en el pavimento características de la fatiga de las mezclas asfálticas existentes, con fisuras tipo bloque y piel de cocodrilo, en donde las áreas afectadas oscilan entre el 60 y 80% y una condición mala del pavimento a causa de las deflexiones medidas, es necesario el reforzamiento de la estructura mediante la colocación de una sobrecarpeta asfáltica que permita soportar adecuadamente las cargas de tránsito proyectadas.

Adicionalmente y previo a la colocación de la nueva carpeta es necesario la estabilización de la estructura actual mediante el reciclado en frío de la carpeta existente, mediante la adición de emulsión asfáltica y la granulometría adecuada, esto servirá para eliminar las fisuras actuales, brindará mejor resistencia al

deslizamiento y ayudará a corregir las deficiencias de origen superficial, para lograr una vía en buenas condiciones para el usuario mientras se coloca la sobrecarpeta requerida.

## CAPITULO IV

### 4 PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE

El presente capítulo comprende el diseño de la estructura de rehabilitación del pavimento existente a través del reciclado de la carpeta asfáltica actual y la colocación de una sobrecarpeta en base al análisis del tránsito proyectado al año 2014 y 2018.

#### 4.1 ANÁLISIS DEL TRÁNSITO

La Proyección del Tráfico para la determinación del número de ejes equivalentes de 8,2 t, base para el análisis de vida remanente del pavimento y diseño de la intervención, se llevó a cabo a partir del estudio realizado en la estación de peaje de Cochasqui que se encuentra ubicada en el Km 30+130 de la Panamericana, que constituye la estación de peaje más cercana y mantiene condiciones del tráfico vehicular muy similar al que circula por el tramo vial en estudio.

En este sentido la información de tráfico en el Peaje de Cochasqui ha sido tomada desde junio del 2002 hasta diciembre del 2011, con un total de 3499 días.

Esta información ha sido procesada con el fin de determinar las tasas de crecimiento del tráfico en el período 2004 – 2011.

##### 4.1.1 Tasas de Crecimiento

El resumen de las tasas de crecimiento para la Estación de Cochasqui se presenta en la Tabla 18.

**Tabla 18. Tasas de Crecimiento Vehicular**

CATEGORÍA	2014	2018	2025
B Y C 2 EJES	1,39%	1,34%	1,24%
B Y C 3 EJES	1,39%	1,34%	1,24%
C 2 EJES	7,08%	6,88%	6,51%
C 3 EJES	7,08%	6,88%	6,51%
C 4 EJES	7,08%	6,88%	6,51%
C 5 EJES	7,08%	6,88%	6,51%
C 6 EJES	7,08%	6,88%	6,51%

Fuente: **Proyecciones de Tráfico Panamericana, León & Godoy Consultores Cia. Ltda**

**4.1.2 El Pronóstico de Tráfico en la estación de peaje de Cochasqui se presenta en el Tabla 19.**

**Tabla 19. Proyección de Tráfico**

Tipo Vehículo	Categoría Proyección	2011	PROYECCIÓN		
			2014	2018	2025
LIVIANOS	PRIVADO	6442	7759	9854	14555
B Y C 2 EJES	PUBLICO	685	714	753	821
B Y C 3 EJES	PUBLICO	4	4	4	4
C 2 EJES	COMERCIAL	950	1166	1521	2366
C 3 EJES	COMERCIAL	84	103	135	210
C 4 EJES	COMERCIAL	22	28	36	56
C 5 EJES	COMERCIAL	32	39	51	79
C 6 EJES	COMERCIAL	120	148	193	299
TOTAL:		8339	9961	12547	18390

Fuente: **Proyecciones de Tráfico Panamericana, León & Godoy Consultores Cia. Ltda**

**4.1.3 Pesos máximos permitidos por la regulación vigente**

Para la obtención de los factores de ejes equivalentes, se partió del supuesto de pesos por eje iguales a los máximos permitidos por la regulación vigente (Ver Figura 20).

**4.1.4 Pesos por Eje Adoptados**

En la Tabla 20 se muestran los pesos por eje adoptados para el análisis.

Para la determinación del factor de ejes equivalentes para cada tipo de eje, se adoptó la ley de cuarta potencia, empleando para ello los pesos de referencia para cada tipo de eje, como se muestra a continuación:

$$FEE = \left( \frac{\text{Peso Eje}}{\text{Peso de Referencia}} \right)^{4.3}$$



Figura 20. Cuadro Demostrativo de Pesos y Dimensiones Máximas

CUADRO DEMOSTRATIVO DE PESO BRUTO VEHICULAR Y LONGITUDES MÁXIMAS PERMISIBLES EN COMBINACIONES								
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)				
				Long	Ancho	Alto		
2B1			29	18,50	2,60	4,30		
2B2			38	18,50	2,60	4,30		
2B3			42	18,50	2,60	4,30		
3B1			38	18,50	2,60	4,30		
3B2			47	18,50	2,60	4,30		
3B3			48	18,50	2,60	4,30		
2R2			40	18,50	2,60	4,30		
2R3			48	18,50	2,60	4,30		
3R2			48	18,50	2,60	4,30		
3R3			48	18,50	2,60	4,30		
2B1			29	18,50	2,60	4,30		
2B2			38	18,50	2,60	4,30		
2B3			42	18,50	2,60	4,30		
3B1			38	18,50	2,60	4,30		
3B2			47	18,50	2,60	4,30		
3B3			48	18,50	2,60	4,30		

(Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas – Subsecretaría de Transportes y Ferroviario, Unidad de Pesos y Dimensiones)

Tabla 20. Pesos por Eje Adoptados (t)

TIPO DE VEHICULO	Configuración de Ejes Adoptado	PESO POR EJE		
		EJE DELANTERO	EJE MEDIO	EJE POSTERIOR
BUSES 2 EJES	BUS 2 EJES	4,00		8,00
BUSES 3 EJES	BUS 3 EJES	4,00		15,00
CAMIONES 2 EJES	2DB	7,00		11,00
CAMIONES 3 EJES	3A	7,00		20,00

CAMIONES 4 EJES	4C	7,00		24,00
CAMIONES 5 EJES	3S2	7,00	20,00	20,00
CAMIONES 6 EJES	3S3	7,00	20,00	24,00

#### 4.1.5 Pesos de Referencia

Tabla 21. Pesos de Referencia para la Determinación del Factor de Ejes

Peso por Eje	Peso de Referencia (t)
4	6,6
7	6,6
8	8,2
11	8,2
15	15
20	15
24	23

#### 4.1.6 Factor de Ejes Equivalentes

La Tabla 22 muestra los factores de ejes equivalentes por eje.

Tabla 22. Factores de Ejes Equivalentes

TIPO DE VEHICULO	Configuración de Ejes Adoptado	FEE			TOTAL
		EJE DELANTERO	EJE MEDIO	EJE POSTERIOR	
BUSES 2 EJES	BUS 2 EJES	0,116	-	0,899	1,015
BUSES 3 EJES	BUS 3 EJES	0,116	-	1,000	1,116
CAMIONES 2 EJES	2DB	1,288	-	3,537	4,825
CAMIONES 3 EJES	3A	1,288	-	3,445	4,733
CAMIONES 4 EJES	4C	1,288	-	1,201	2,489
CAMIONES 5 EJES	3S2	1,288	3,445	3,445	8,179
CAMIONES 6 EJES	3S3	1,288	3,445	1,201	5,934

#### 4.1.7 Estimación futura de Ejes equivalentes, ESAL's (80kN) en el carril de diseño sobre el período de diseño (kN).

Para el cálculo del número de ejes equivalentes se ha considerado únicamente 2 períodos: Año 2014 y Año 2018. No se ha considerado la Proyección del Tráfico para el año 2025 pues este período sobrepasa el período de intervención programado.

La Tabla 23 presenta el cálculo del número de ejes equivalentes para los períodos de diseño mencionados.

**Tabla 23. Estimación Futura de Ejes Equivalentes, ESAL's (80 kN)**

TIPO DE VEHICULO	2011	2014	2018	2014	2018	2014	2018	2014	2018
	TRAFICO VEHICULAR	TRAFICO VEHICULAR	TRAFICO VEHICULAR	% TRAFICO	% TRAFICO	Fe	Fe	Nt	Nt
BUSES 2 EJES	685,00	714	753	32,43	27,96	0,3292	0,2839	2,2696E+05	4,6940E+05
BUSES 3 EJES	4,00	4	4	0,18	0,15	0,0020	0,0017	7,9921E+00	1,5248E+01
CAMIONES 2 EJES	950,00	1.166	1.521	52,95	56,48	2,5547	2,7249	2,6637E+06	7,7415E+06
CAMIONES 3 EJES	84,00	103	135	4,68	5,01	0,2214	0,2373	2,0401E+04	5,9746E+04
CAMIONES 4 EJES	22,00	28	36	1,27	1,34	0,0316	0,0333	7,7968E+02	2,2186E+03
CAMIONES 5 EJES	32,00	39	51	1,77	1,89	0,1449	0,1549	5,0677E+03	1,4781E+04
CAMIONES 6 EJES	120,00	148	193	6,72	7,17	0,3988	0,4253	5,2670E+04	1,5305E+05
TOTAL	1.897	2.202	2.693	100	100	3,68	3,86	7,4382E+06	2,0377E+07

Los ESAL's (80 kN) obtenidos son:

Para el año 2014:  $7,4382 \times 10^6$

Para el año 2018:  $2,0377 \times 10^7$

## 4.2 MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE

La valoración del módulo resiliente de la subrasante se realiza mediante el retrocálculo a partir de la deflexión del último sensor (ubicado a 1.80 m del plato de carga). Se emplea este concepto dado que la deflexión que se produce a más de 1.5 m del plato de carga es debida exclusivamente a la subrasante.

La guía para diseño de estructuras de pavimentos de la AASHTO de 1993 presenta la metodología para el cálculo del Módulo de Resiliencia a partir de medidas de deflexión tomadas con el Falling Weight Deflectometer. La fórmula de retrocálculo para hallar el módulo resiliente de la subrasante,  $M_r$  es como sigue:

$$M_r = 0,24 \times P / (d_r \times r)$$

Donde:

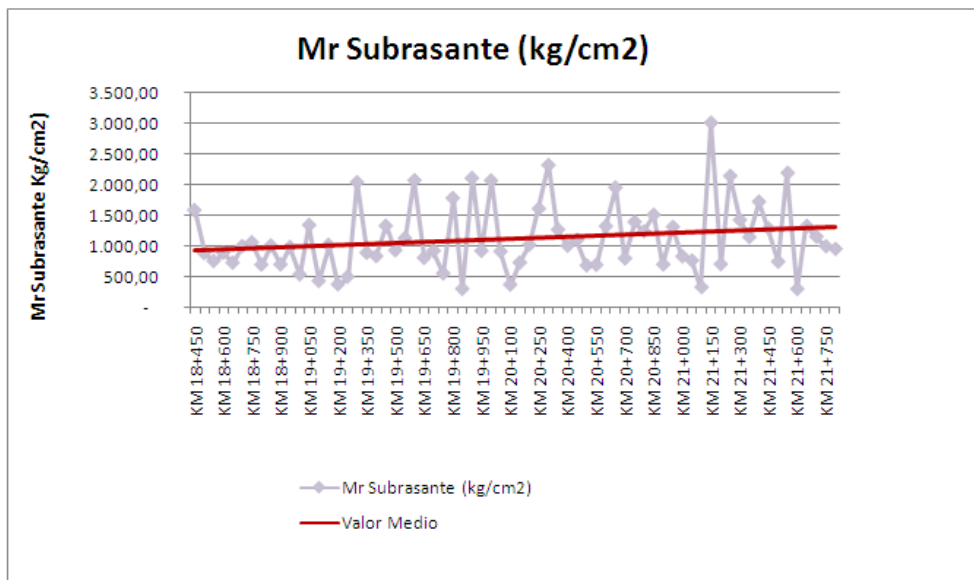
$M_r$ : Módulo de resiliencia de la subrasante, psi

$P$ : Carga aplicada en libras. En este caso igual a 9000 libras = 40 KN.

- $d_r$ : Deflexión medida a una distancia  $r$  del centro del plato de carga, en pulgadas. En este estudio se empleó la deflexión D3, correspondiente a la deflexión ubicada a 0,90 m del centro del plato de carga.
- $r$ : Distancia desde el centro del plato de carga, en pulgadas, igual a 0,90 m = 35,43 pulgadas.

En la Tabla 24 se indica los valores obtenidos del módulo resiliente de la subrasante a lo largo del proyecto, y en la Figura 21 se puede visualizar su comportamiento a lo largo del tramo en estudio.

**Figura 21. Módulo de Resiliencia de la Subrasante a partir de la deflexión**



**Tabla 24. Valores Obtenidos de Módulo Resiliente**

Abscisa	Carril	D3	Ubicación del Sensor	P (kg)	dr (cm)	Mr Subrasante
KM 18+450	IZQUIERDO	69	0,90	4.078,86	0,0069	1.584,25
KM 18+500	DERECHO	123	0,90	4.078,86	0,0123	881,63
KM 18+550	IZQUIERDO	145	0,90	4.078,86	0,0145	751,57
KM 18+600	DERECHO	123	0,90	4.078,86	0,0123	883,75
KM 18+650	IZQUIERDO	150	0,90	4.078,86	0,0150	723,93
KM 18+700	DERECHO	109	0,90	4.078,86	0,0109	993,85
KM 18+750	IZQUIERDO	103	0,90	4.078,86	0,0103	1.056,02
KM 18+800	DERECHO	157	0,90	4.078,86	0,0157	690,79
KM 18+850	IZQUIERDO	108	0,90	4.078,86	0,0108	1.004,61
KM 18+900	DERECHO	156	0,90	4.078,86	0,0156	695,30
KM 18+950	IZQUIERDO	111	0,90	4.078,86	0,0111	978,93
KM 19+000	DERECHO	205	0,90	4.078,86	0,0205	530,78
KM 19+050	IZQUIERDO	81	0,90	4.078,86	0,0081	1.339,48
KM 19+100	DERECHO	256	0,90	4.078,86	0,0256	424,62
KM 19+150	IZQUIERDO	107	0,90	4.078,86	0,0107	1.013,30
KM 19+200	DERECHO	295	0,90	4.078,86	0,0295	368,91
KM 19+250	IZQUIERDO	221	0,90	4.078,86	0,0221	492,94
KM 19+300	DERECHO	53	0,90	4.078,86	0,0053	2.039,43
KM 19+350	IZQUIERDO	123	0,90	4.078,86	0,0123	887,10
KM 19+400	DERECHO	131	0,90	4.078,86	0,0131	830,08
KM 19+450	IZQUIERDO	82	0,90	4.078,86	0,0082	1.326,46
KM 19+500	DERECHO	117	0,90	4.078,86	0,0117	926,39
KM 19+550	IZQUIERDO	97	0,90	4.078,86	0,0097	1.124,52
KM 19+600	DERECHO	52	0,90	4.078,86	0,0052	2.072,78
KM 19+650	IZQUIERDO	135	0,90	4.078,86	0,0135	803,41
KM 19+700	DERECHO	118	0,90	4.078,86	0,0118	918,60
KM 19+750	IZQUIERDO	198	0,90	4.078,86	0,0198	549,34
KM 19+800	DERECHO	61	0,90	4.078,86	0,0061	1.780,67
KM 19+850	IZQUIERDO	368	0,90	4.078,86	0,0368	295,41
KM 19+900	DERECHO	52	0,90	4.078,86	0,0052	2.107,41
KM 19+950	IZQUIERDO	118	0,90	4.078,86	0,0118	918,03
KM 20+000	DERECHO	53	0,90	4.078,86	0,0053	2.067,65
KM 20+050	IZQUIERDO	120	0,90	4.078,86	0,0120	907,91
KM 20+100	DERECHO	298	0,90	4.078,86	0,0298	364,75
KM 20+150	IZQUIERDO	150	0,90	4.078,86	0,0150	724,52
KM 20+200	DERECHO	107	0,90	4.078,86	0,0107	1.016,54
KM 20+250	IZQUIERDO	68	0,90	4.078,86	0,0068	1.607,55
KM 20+300	DERECHO	47	0,90	4.078,86	0,0047	2.320,03
KM 20+350	IZQUIERDO	86	0,90	4.078,86	0,0086	1.264,76
KM 20+400	DERECHO	109	0,90	4.078,86	0,0109	1.000,38
KM 20+450	IZQUIERDO	99	0,90	4.078,86	0,0099	1.095,94
KM 20+500	DERECHO	160	0,90	4.078,86	0,0160	679,81
KM 20+550	IZQUIERDO	158	0,90	4.078,86	0,0158	688,53
KM 20+600	DERECHO	82	0,90	4.078,86	0,0082	1.320,31
KM 20+650	IZQUIERDO	56	0,90	4.078,86	0,0056	1.952,91
KM 20+700	DERECHO	137	0,90	4.078,86	0,0137	793,94
KM 20+750	IZQUIERDO	78	0,90	4.078,86	0,0078	1.391,00
KM 20+800	DERECHO	88	0,90	4.078,86	0,0088	1.234,60
KM 20+850	IZQUIERDO	72	0,90	4.078,86	0,0072	1.506,91
KM 20+900	DERECHO	156	0,90	4.078,86	0,0156	695,50
KM 20+950	IZQUIERDO	83	0,90	4.078,86	0,0083	1.309,88
KM 21+000	DERECHO	132	0,90	4.078,86	0,0132	826,07
KM 21+050	IZQUIERDO	143	0,90	4.078,86	0,0143	758,32
KM 21+100	DERECHO	337	0,90	4.078,86	0,0337	322,86
KM 21+150	IZQUIERDO	36	0,90	4.078,86	0,0036	3.013,83
KM 21+200	DERECHO	155	0,90	4.078,86	0,0155	699,49
KM 21+250	IZQUIERDO	51	0,90	4.078,86	0,0051	2.143,40
KM 21+300	DERECHO	76	0,90	4.078,86	0,0076	1.423,19
KM 21+350	IZQUIERDO	95	0,90	4.078,86	0,0095	1.142,08
KM 21+400	DERECHO	63	0,90	4.078,86	0,0063	1.722,19
KM 21+450	IZQUIERDO	85	0,90	4.078,86	0,0085	1.285,17
KM 21+500	DERECHO	147	0,90	4.078,86	0,0147	740,76
KM 21+550	IZQUIERDO	50	0,90	4.078,86	0,0050	2.191,71
KM 21+600	DERECHO	372	0,90	4.078,86	0,0372	292,67
KM 21+650	IZQUIERDO	82	0,90	4.078,86	0,0082	1.323,58
KM 21+700	DERECHO	94	0,90	4.078,86	0,0094	1.152,02
KM 21+750	IZQUIERDO	110	0,90	4.078,86	0,0110	992,90
KM 21+800	DERECHO	115	0,90	4.078,86	0,0115	948,19

### 4.3 MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE A PARTIR DEL CBR DE LABORATORIO

Es necesario conocer las propiedades de resistencia de la subrasante mediante las pruebas de campo. Los ensayos de CBR realizados en el laboratorio permiten estimar el módulo de resiliencia mediante la siguiente expresión recomendada por el Instituto del Asfalto:

$$Mr \text{ (Mpa)} = 10.3 \text{ CBR}$$

Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 25.

Tabla 25. Mr de la Subrasante a partir del CBR

Abscisa	CBR (%)	Mr (Mpa)
Km 19	34,6	356,38
Km 20	70,3	724,09
Km 21	33,8	348,14

### 4.4 MÓDULO EFECTIVO DEL PAVIMENTO

El módulo efectivo del pavimento refleja la capacidad estructural del pavimento existente, es decir, la rigidez equivalente otorgada por la capa asfáltica que la conforma y los materiales que se encuentran bajo ésta. El módulo equivalente se determina mediante la siguiente ecuación:

$$d_0 = 1.5P \cdot a \left( \frac{1}{Mr \sqrt{1 + \left( \frac{D^3 \sqrt{Ep}}{a \sqrt{Mr}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \right)^2}}}{Ep} \right)$$

Donde:

$d_0$ : Deflexión central corregida por temperatura

P: Presión del plato de carga, psi. En este caso 82.3 psi = 5,76 Kg/cm<sup>2</sup>

a: Radio del plato de carga, pulgadas (5.9 in = 15 cm)

D: Espesor total de las capas del pavimento sobre la subrasante, pulgadas

Mr: Módulo resiliente de la subrasante, psi

Ep: Módulo efectivo de las capas que conforman el pavimento, psi

El módulo efectivo del pavimento (EP), es calculado mediante iteraciones consecutivas de posibles valores, hasta que la igualdad de la ecuación anterior se cumpla.

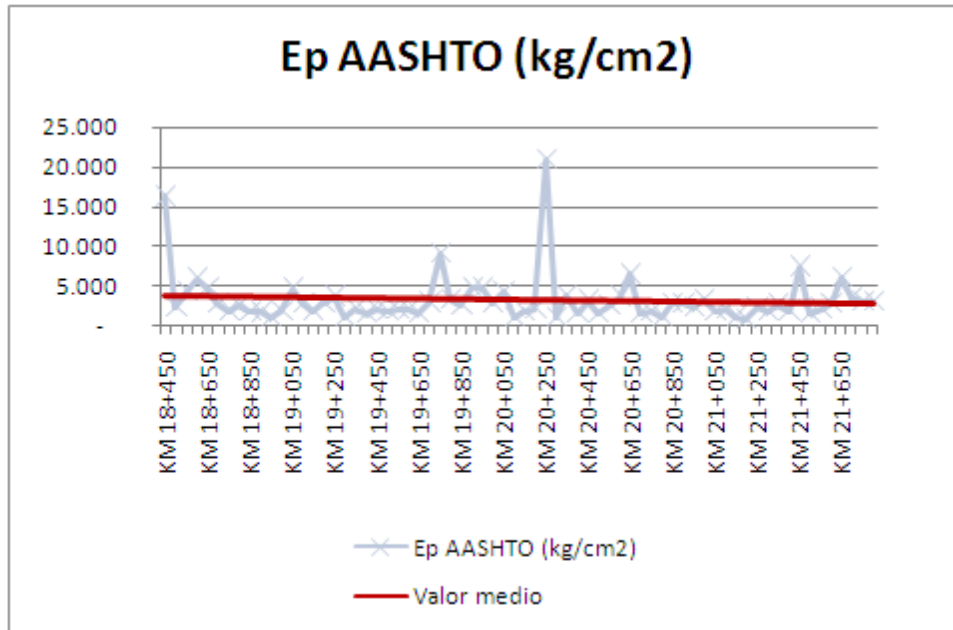
Los valores de Ep obtenidos, se encuentran en la Tabla 26 y en la Figura 22 se puede ver su comportamiento a lo largo del tramo.

**Tabla 26. Módulo Efectivo del Pavimento**

Abscisa	Carril	D0	Capas asfálticas	Granulares	Espesor Total	Mr Subrasante (kg/cm2)	Ep AASHTO (kg/cm2)
KM 18+450	IZQUIERDO	210	16,00	18,00	34,00	1.584,25	16.305
KM 18+500	DERECHO	770	16,00	18,00	34,00	881,63	2.375
KM 18+550	IZQUIERDO	586	16,00	18,00	34,00	751,57	4.395
KM 18+600	DERECHO	462	16,00	18,00	34,00	883,75	5.980
KM 18+650	IZQUIERDO	563	16,00	18,00	34,00	723,93	4.915
KM 18+700	DERECHO	649	16,00	18,00	34,00	993,85	2.915
KM 18+750	IZQUIERDO	815	16,00	18,00	34,00	1.056,02	1.936
KM 18+800	DERECHO	819	16,00	18,00	34,00	690,79	2.543
KM 18+850	IZQUIERDO	879	16,00	18,00	34,00	1.004,61	1.770
KM 18+900	DERECHO	1.020	16,00	18,00	34,00	695,30	1.740
KM 18+950	IZQUIERDO	1.198	16,00	18,00	34,00	978,93	1.129
KM 19+000	DERECHO	1.133	16,00	18,00	34,00	530,78	1.758
KM 19+050	IZQUIERDO	435	16,00	18,00	34,00	1.339,48	4.680
KM 19+100	DERECHO	959	16,00	18,00	34,00	424,62	2.890
KM 19+150	IZQUIERDO	824	16,00	18,00	34,00	1.013,30	1.950
KM 19+200	DERECHO	1.037	16,00	18,00	34,00	368,91	2.844
KM 19+250	IZQUIERDO	786	16,00	18,00	34,00	492,94	3.708
KM 19+300	DERECHO	1.028	16,00	18,00	34,00	2.039,43	1.069
KM 19+350	IZQUIERDO	796	16,00	18,00	34,00	887,10	2.235
KM 19+400	DERECHO	1.009	16,00	18,00	34,00	830,08	1.590
KM 19+450	IZQUIERDO	702	16,00	18,00	34,00	1.326,46	2.155
KM 19+500	DERECHO	892	16,00	18,00	34,00	926,39	1.811
KM 19+550	IZQUIERDO	760	16,00	18,00	34,00	1.124,52	2.088
KM 19+600	DERECHO	630	16,00	18,00	34,00	2.072,78	2.050
KM 19+650	IZQUIERDO	1.011	16,00	18,00	34,00	803,41	1.615
KM 19+700	DERECHO	665	16,00	18,00	34,00	918,60	2.957
KM 19+750	IZQUIERDO	487	16,00	18,00	34,00	549,34	9.098
KM 19+800	DERECHO	477	16,00	18,00	34,00	1.780,67	3.330
KM 19+850	IZQUIERDO	1.207	16,00	18,00	34,00	295,41	2.630
KM 19+900	DERECHO	359	16,00	18,00	34,00	2.107,41	4.755
KM 19+950	IZQUIERDO	511	16,00	18,00	34,00	918,03	4.755
KM 20+000	DERECHO	492	16,00	18,00	34,00	2.067,65	2.940
KM 20+050	IZQUIERDO	542	16,00	18,00	34,00	907,91	4.305
KM 20+100	DERECHO	1.833	16,00	18,00	34,00	364,75	1.007
KM 20+150	IZQUIERDO	958	16,00	18,00	34,00	724,52	1.880
KM 20+200	DERECHO	760	16,00	18,00	34,00	1.016,54	2.212
KM 20+250	IZQUIERDO	186	16,00	18,00	34,00	1.607,55	20.907
KM 20+300	DERECHO	1.018	16,00	18,00	34,00	2.320,03	1.045
KM 20+350	IZQUIERDO	499	16,00	18,00	34,00	1.264,76	3.846
KM 20+400	DERECHO	905	16,00	18,00	34,00	1.000,38	1.696
KM 20+450	IZQUIERDO	589	16,00	18,00	34,00	1.095,94	3.210
KM 20+500	DERECHO	1.127	16,00	18,00	34,00	679,81	1.500
KM 20+550	IZQUIERDO	806	16,00	18,00	34,00	688,53	2.625
KM 20+600	DERECHO	500	16,00	18,00	34,00	1.320,31	3.720
KM 20+650	IZQUIERDO	307	16,00	18,00	34,00	1.952,91	6.513
KM 20+700	DERECHO	987	16,00	18,00	34,00	793,94	1.690
KM 20+750	IZQUIERDO	778	16,00	18,00	34,00	1.391,00	1.805
KM 20+800	DERECHO	1.070	16,00	18,00	34,00	1.234,60	1.202
KM 20+850	IZQUIERDO	566	16,00	18,00	34,00	1.506,91	2.805
KM 20+900	DERECHO	757	16,00	18,00	34,00	695,50	2.915
KM 20+950	IZQUIERDO	684	16,00	18,00	34,00	1.309,88	2.258
KM 21+000	DERECHO	653	16,00	18,00	34,00	826,07	3.314
KM 21+050	IZQUIERDO	948	16,00	18,00	34,00	758,32	1.855
KM 21+100	DERECHO	1.293	16,00	18,00	34,00	322,86	2.094
KM 21+150	IZQUIERDO	874	16,00	18,00	34,00	3.013,83	1.185
KM 21+200	DERECHO	1.605	16,00	18,00	34,00	699,49	860
KM 21+250	IZQUIERDO	580	16,00	18,00	34,00	2.143,40	2.274
KM 21+300	DERECHO	778	16,00	18,00	34,00	1.423,19	1.785
KM 21+350	IZQUIERDO	647	16,00	18,00	34,00	1.142,08	2.670
KM 21+400	DERECHO	693	16,00	18,00	34,00	1.722,19	1.935
KM 21+450	IZQUIERDO	344	16,00	18,00	34,00	1.285,17	7.478
KM 21+500	DERECHO	1.086	16,00	18,00	34,00	740,76	1.512
KM 21+550	IZQUIERDO	593	16,00	18,00	34,00	2.191,71	2.185
KM 21+600	DERECHO	1.182	16,00	18,00	34,00	292,67	2.774
KM 21+650	IZQUIERDO	378	16,00	18,00	34,00	1.323,58	6.075
KM 21+700	DERECHO	539	16,00	18,00	34,00	1.152,02	3.605
KM 21+750	IZQUIERDO	639	16,00	18,00	34,00	992,90	3.000
KM 21+800	DERECHO	641	16,00	18,00	34,00	948,19	3.081

Figura 22. Módulo Efectivo del Pavimento





#### 4.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA EL TRÁNSITO FUTURO, (SN)

Las variables para determinar el número estructural de diseño requerido son las siguientes:

##### 4.5.1 La cantidad estimada de ejes equivalentes (ESAL's) por carril, para el período de diseño, en nuestro caso es:

Año 2014: 7,4328 E+06

Año 2018: 2,0377 E+07

##### 4.5.2 Módulo efectivo para diseño de subrasante, Mr

Dado que los valores del Mr de la subrasante deducidos de las mediciones de deflexiones son la respuesta a cargas reales ejecutadas en el ensayo deflectométrico con el FWD y a la frecuencia de medición, realizada cada 50 m, se opta por considerar para el diseño estos valores.

Para la corrección del módulo resiliente, asumiendo que en este tramo se tienen suelos areno-limosos, se aplicó un factor  $C = 0.33$  por la recomendación de la Guía de la AASHTO.

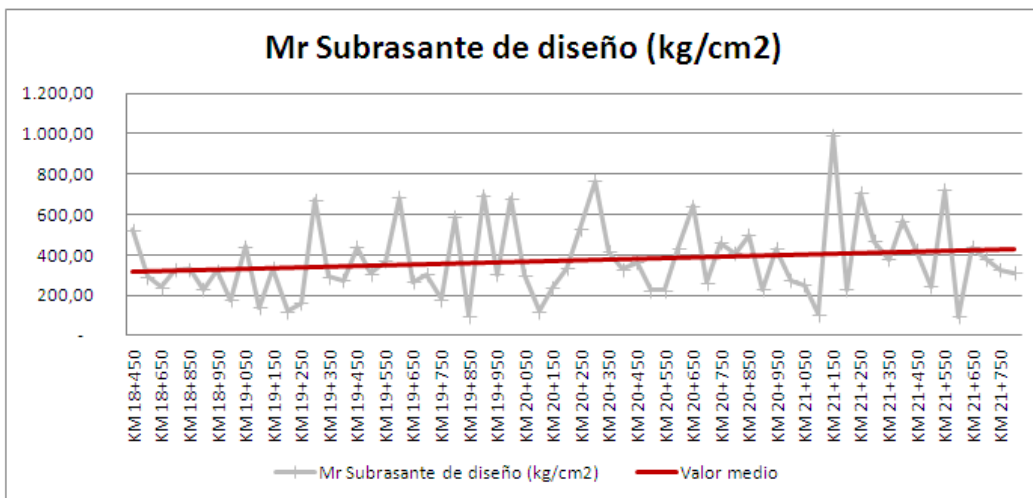
$$\text{Diseño Mr} = C \times 0,24 \times P / (d_r \times r)$$

En la Tabla 27 se muestra el resumen de los resultados de los módulos resilientes obtenidos y en la Figura 23 se presenta el comportamiento del módulo resiliente de la subrasante.

**Tabla 27. Módulo Resiliente de Diseño de la Subrasante**

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Mr Subrasante de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )
KM 18+450	KM 18+950	323,52
KM 19+000	KM 19+950	342,37
KM 20+000	KM 20+950	395,07
KM 21+000	KM 21+800	407,23

**Figura 23. Comportamiento del Módulo Resiliente de Diseño de la Subrasante**



#### 4.5.3 Confiabilidad, R

Por tratarse de una Concesión se considera R = 85%

#### 4.5.4 Desviación estándar total, S<sub>o</sub>

Para pavimento flexible la desviación estándar total se considera S<sub>o</sub> = 0,49

#### 4.5.5 Pérdida de serviciabilidad, ΔPSI

Nivel de servicio inicial (PSI Inicial) = 4.2

Nivel de servicio final (PSI Final) = 2.5

$$\Delta\text{PSI} = 1.7$$

#### 4.5.6 Determinación del Número Estructural requerido.

La determinación del número estructural requerido se realiza mediante el uso de software<sup>8</sup> (Figura 24.) para el efecto y la comprobación mediante la Figura 7.

**Figura 24. Cálculo del Número Estructural Requerido**

Los valores promedio obtenidos por Km se presentan en la Tabla 28

**Tabla 28. Número estructural requerido**

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Mr Subrasante Diseño (PSI)	Número Estructural Requerido (SN F)	
			2014	2018
KM 18+450	KM 18+950	4.601,54	5,46	6,25
KM 19+000	KM 19+950	4.869,65	5,36	6,14
KM 20+000	KM 20+950	5.619,22	5,12	5,88
KM 21+000	KM 21+800	5.792,17	5,07	5,82

#### 4.6 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO PARA PAVIMENTOS EXISTENTES $SN_{EFF}$

$$SN_{eff} = 0,0045 \times D \times (E_p)^{0.33}$$

<sup>8</sup> Vásquez Varela, Luis Ricardo (2000) *Cálculo del Número Estructural AASHTO 1993*. Manizales, Colombia.

Donde:

$SN_{eff}$  = Número estructural efectivo para pavimentos existentes

$D$  = Espesor total para todas las capas desde la subrasante, plgs

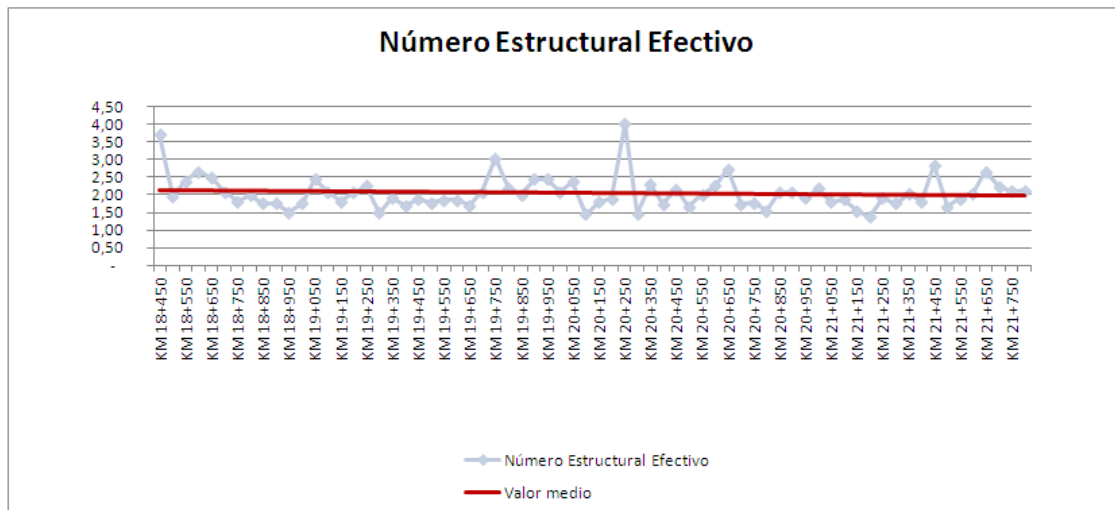
$E_p$  = Módulo efectivo del pavimento, psi

En la Tabla 29 se muestra el resumen de los resultados del número estructural efectivo para pavimentos existentes obtenidos y en la Figura 25 se presenta el comportamiento del número estructural a lo largo del tramo en estudio. El valor promedio obtenido es de  $SN_{EFF}$  es de 2.06

**Tabla 29. Resultados Promedio Obtenidos por Km del Número Estructural Efectivo  $SN_{EFF}$**

Abscisa	Número Estructural Efectivo ( $SN_{EFF}$ )
KM 18	2,19
KM 19	2,04
KM 20	2,05
KM 21	1,99

**Figura 25. Comportamiento del Número Estructural Efectivo  $SN_{EFF}$**



#### 4.7 DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE SOBRECAPAS

$$D_{01} = SN_{01} / a_{01} = (SN_f - SN_{eff}) / a_{01}$$

Donde:

$D_{01}$  = Espesor requerido de recapeo.

$SN_{01}$  = Número estructural requerido del recapeo

$a_{01}$  = Coeficiente estructural para recapeo de concreto asfáltico  
 $SN_f$  = Número estructural requerido para el tránsito futuro  
 $SN_{eff}$  = Número estructural efectivo determinado para pavimento existente

#### 4.7.1 Coeficiente estructural para recapeo de concreto asfáltico

ITINERIS realizó la estimación del módulo dinámico para concreto asfáltico tipo mezcla caliente mediante el programa BANDS 2.0 de la compañía Shell, obteniéndose un valor de 3.120 MPa equivalente a 430.000 psi.

Con el valor del módulo dinámico (430.000 psi) se encuentra el coeficiente estructural de capa  $a_{01}$  haciendo uso de la Figura 8; para el caso, saliendo del valor de 430.000 en la figura hacia arriba a interceptar la línea de pivote y de allí horizontalmente hacia la izquierda para encontrar el valor correspondiente de  $a_{01} = 0,44$

En la Tabla 30 se muestran los resultados del cálculo de los espesores requeridos de recapeo sectorizados por km.

**Tabla 30. Determinación de espesores de sobrecapas**

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Mr Subrasante Diseño (Mpa)	Número Estructural Efectivo (SN EFF)	2014		2018	
				Número Estructural Requerido (SNf)	Espesor Requerido D01 (cm)	Número Estructural Requerido (SNf)	Espesor Requerido D01 (cm)
KM 18+450	KM 18+950	31,97	2,19	5,46	<b>18,88</b>	6,25	<b>23,44</b>
KM 19+000	KM 19+950	33,83	2,04	5,36	<b>19,17</b>	6,14	<b>23,67</b>
KM 20+000	KM 20+950	39,04	2,05	5,12	<b>17,72</b>	5,88	<b>22,11</b>
KM 21+000	KM 21+850	40,24	1,99	5,07	<b>17,78</b>	5,82	<b>22,11</b>

En promedio tenemos:

Para el año 2014 un espesor de sobrecarpeta de 18 cm

Para el año 2018 un espesor de sobrecarpeta de 23 cm

#### 4.8 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS EN FRÍO (MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO)

Consiste en el fresado del espesor total de la carpeta asfáltica de rodadura existente ( $e=15\text{cm}$ ) con la adición de emulsión asfáltica. Este procedimiento es

posible por cuanto el ensayo de equivalente de arena es mayor a 30% de acuerdo a la Tabla 17.

#### 4.8.1 Granulometría de la mezcla recuperada

El agregado de la mezcla recuperada se debe mezclar con agregados recuperados o nuevos para obtener una granulometría que cumpla con los requisitos indicados en la Tabla 2.

La granulometría de la muestra evaluada presenta los valores indicados en la Tabla 31.

**Tabla 31. Granulometría de la mezcla recuperada**

Tamiz		Promedio
mm	Pg.	
28.1	1½	100
25.0	1	100
19.0	¾	100
12.5	½	89
4.5	No. 4	53
2.36	No. 8	33
0.30	No. 50	8
0.075	No. 200	3

Mezcla que cumple los requisitos de la gradación D de la Tabla No. 2 Mezcla densa.

#### 4.8.2 Emulsión Asfáltica

En la Tabla 3 se muestra las emulsiones asfálticas recomendadas para el reciclaje de pavimentos.

#### 4.8.3 Cantidad de asfalto necesario

La cantidad de asfalto necesario para la combinación de los agregados obtenido es de 9,07%, el mismo que se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$P_c = \frac{0.035a + 0.045b + Kc + F}{R}$$

Donde:

- Pc = Porcentaje de asfalto en peso de la mezcla total.
- a = Porcentaje de material mayor a 2.36 mm (Tamiz No. 8). En este caso a = 57%
- b = Porcentaje de partículas entre 2.36 mm y 75  $\mu\text{m}$  (No. 8 a No. 200). En este caso b= 41%
- c = Porcentaje de partículas menores a 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). En este caso c= 3%
- k = 0.20 ya que el porcentaje inferior a 75  $\mu\text{m}$  es menor a 5%.
- F = Como no se dispone de información se adopta F= 1.0.
- R = Se adopta 0.60 para emulsiones asfálticas

#### **4.8.4 Diseño de Espesores**

El diseño del espesor de reciclaje de acuerdo al método sugerido por el Instituto del Asfalto se determina mediante el uso de la Figura 3. para mezclas Tipo A, la misma que está en función de los siguientes parámetros.

Tránsito, calculado como número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 ton (80kN) en el carril de diseño durante el período de diseño.

Año 2014: 7,4328 E+06

Año 2018: 2,0377 E+07

Soporte de la subrasante, en función del módulo resiliente. Para nuestro caso el Mr promedio obtenido de la Tabla No. 27 es 367,04 Mpa.

Los datos obtenidos del espesor total requerido de base reciclada y capa de rodadura son los siguientes:

Para el año 2014 el espesor requerido es de 280 mm = 28,0 cm

Para el año 2018 el espesor requerido es de 335 mm = 33,5 cm

#### **4.8.5 Porcentaje de asfalto nuevo**

Para estimar el porcentaje de asfalto nuevo que requiere la mezcla se utiliza la fórmula empleada para el diseño de mezclas asfálticas recicladas en frío (Método del Instituto del Asfalto):

$$Pr = Pc - Pa \times \frac{Pp}{100}$$

Donde:

Pr = Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla reciclada

Pc = Porcentaje de asfalto en peso de la mezcla total.

En este caso Pc= 9.07%

Pa = Porcentaje de asfalto en la mezcla recuperada del pavimento.

En este caso de acuerdo al ensayo de laboratorio es de 6,2%

Pp = Porcentaje en que interviene el pavimento asfáltico recuperado dentro de la mezcla reciclada, considerando un espesor a reciclar de carpeta de 15 cm son:

Para el año 2014: Pp = 54%

Para el año 2018: Pp = 44%

Con toda esta información el Pr necesario es de:

Para el año 2014: 5,72%

Para el año 2018: 6,34%

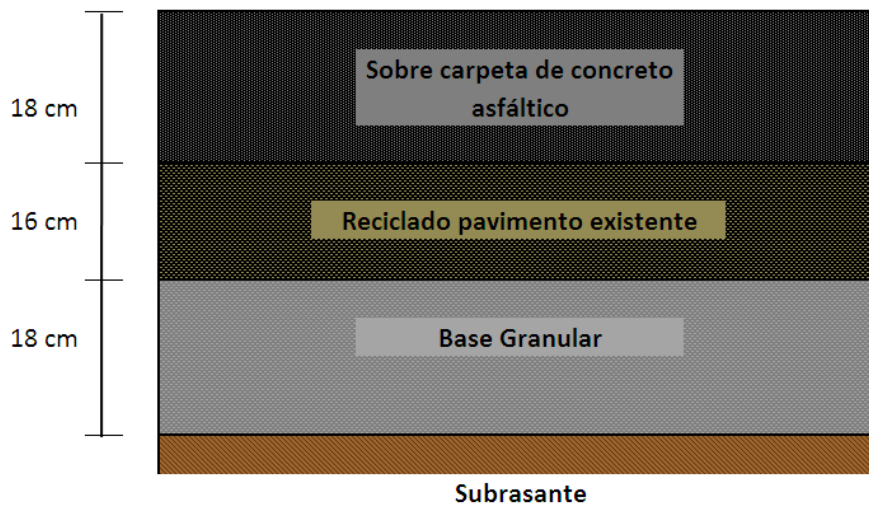
Podríamos concluir que la cantidad de emulsión asfáltica nueva es del 6% para los períodos de diseño indicados.

A continuación (Figura 26 y 27.) se muestran las estructuras propuestas para los períodos indicados.

**Figura 26. Estructura Propuesta de Rehabilitación Año 2014**

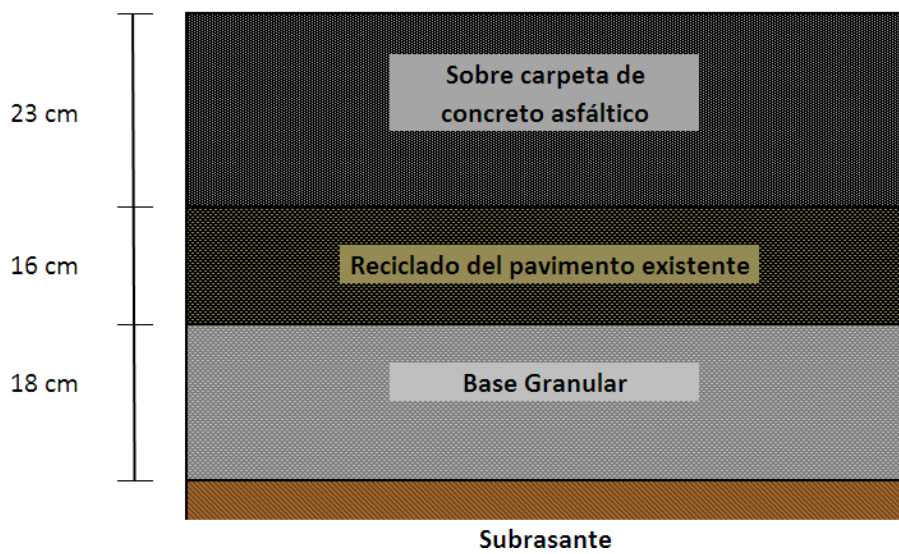


**ESTRUCTURA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN AÑO 2014**



**Figura 27. Estructura Propuesta de Rehabilitación Año 2018**

**ESTRUCTURA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN AÑO 2018**



**4.9 COMPROBACIÓN DE RESULTADOS POR EL MÉTODO RACIONAL**

Con este procedimiento se pretende verificar los esfuerzos, deformaciones y deflexiones producidas por las cargas a las que estará sometida la estructura a fin de comprobar la bondad del diseño propuesto.

El procedimiento seguido para el diseño de un pavimento por métodos racionales se planteó inicialmente por medio de modelos bicapas que posteriormente fueron generalizados a tricapas y multicapa.

Una buena forma de caracterizar el comportamiento de un pavimento flexible bajo la acción de cargas de ruedas, es considerarlo como un semiespacio homogéneo; este tiene un área infinita y una profundidad infinita con una carpeta delgada encima donde son aplicadas las cargas.

#### **4.9.1 Fatiga en los materiales del Pavimento**

En todos los métodos de diseño de pavimentos se acepta que durante la vida útil de la estructura se pueden producir dos tipos de falla, la funcional y la estructural. La falla funcional se deja ver cuando el pavimento no brinda un paso seguro sobre él, de tal forma que no transporta cómoda y de forma segura a los vehículos. La falla estructural está asociada con la pérdida de cohesión de algunas o todas las capas del pavimento de tal forma que éste no puede soportar las cargas a la que está sometido. No necesariamente las dos fallas se producen a la vez, en este caso se hace referencia a la falla estructural.

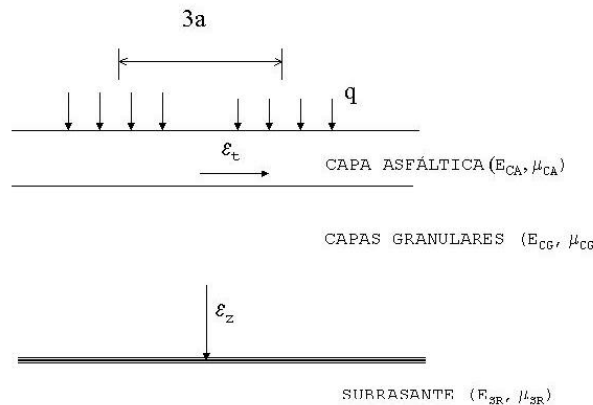
La falla estructural en un pavimento se presenta cuando los materiales que conforman la estructura al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito, sufren un agrietamiento estructural relacionado con la deformación o la tensión horizontal por tracción en la base de cada capa; en este sentido la falla relaciona la deformación o la tensión producida con el número de repeticiones admisibles; esto se denomina falla por fatiga o sea por repeticiones de carga.

Los materiales que forman parte de la estructura se consideran homogéneos e isotrópicos y se supone que las capas tienen una extensión infinita en sentido horizontal. En esta metodología se considera la estructura de pavimento como un sistema linealmente elástico, en el cual los materiales se encuentran caracterizados por:

- Módulos elásticos (E)

- Relación de Poisson ( $\mu$ )
- El espesor de la capa ( $h$ )

Figura 28. Estructura multicapa de un pavimento flexible



En la Figura 28. se puede observar un modelo multicapa en el que se supone la capa inferior (subrasante) infinita en el sentido vertical, la capa intermedia representa las capas granulares y la capa superior representa los materiales bituminosos.

El pavimento flexible puede fallar de dos maneras<sup>9</sup>.

- Que la deformación horizontal por tracción  $\epsilon_t$  en la fibra inferior de las capas asfálticas, al flexionar ellas bajo la acción de las cargas, supere cierto límite admisible, en este caso se producirá agrietamiento en dichas capas.
- Que la deformación vertical  $\epsilon_z$  por compresión de la subrasante supere el límite admitido por ella, caso en el cual se presenta una deformación permanente y por consiguiente la del pavimento, en este caso se producirá ahuellamiento. Además se puede verificar que  $\sigma_z$  se mantenga dentro de los límites admisibles.

En términos generales la ley de fatiga de los materiales que conforman la estructura del pavimento según los resultados de laboratorio se puede escribir:

- Para la capa asfáltica:

$$\epsilon_t = k N^{-a}$$

<sup>9</sup> LLILLI, Félix J.(1987). **Curso sobre diseño racional de Pavimentos**. Popayán.

En donde:

$\epsilon_t$  = Deformación unitaria por tracción en la fibra inferior de la capa de material asfáltico.

N = Número admisible de repeticiones de carga.

a, k, = Parámetros que dependen del tipo de material de la capa, determinados experimentalmente.

- Para la subrasante:

$$\epsilon_z = k N^{-b}$$

En donde:

$\epsilon_z$  = Deformación unitaria vertical en la capa superior de la subrasante.

N = Número admisible de repeticiones de carga.

a, k, = Parámetros que dependen del tipo de material de la capa, determinados experimentalmente.

Con las leyes de fatiga de los materiales se puede encontrar las deformaciones, esfuerzos y deflexiones admisibles de los materiales y con la teoría de esfuerzo y deformación en una masa de suelo se encuentran las deformaciones, esfuerzos y deflexiones actuantes en la estructura de pavimento.

Utilizando el programa DEPAV del paquete INPACO del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca se calculan los esfuerzos, deformaciones y deflexiones a las que está sometido el pavimento y la subrasante por acción de las cargas impuestas por el tránsito, mientras que con las fórmulas abajo expresadas sugeridas por el Centro de investigaciones viales de Bélgica (CRR) se determina los límites admisibles en cada capa que conforma la estructura del pavimento.

Esfuerzo Admisible Vertical:  $\sigma_{z \text{ adm}} = 0.09607 \text{ CBR}^{1.2} (\text{N})^{1/4.35} \text{ (Mpa)}$

Deformación admisible SR (Ahuellamiento):  $\epsilon_{z \text{ adm}} = 1,10 \times 10^{-2} (\text{N})^{-0.23}$

Deformación admisible en carpeta:  $\epsilon_{t \text{ adm}} = 1,60 \times 10^{-3} (\text{N})^{-0.21}$

Deflexión admisible  $D_{\text{adm}} = 26.32 (\text{N})^{-0.2438}$

Los valores obtenidos para el Año 2014 y Año 2018 se muestran en la Tabla 32. Se puede observar que los valores admisibles son mayores a los valores calculados, comprobando así la bondad del diseño.

Tabla 32. Cálculo de comprobación por el Método Racional

	Año 2014		Año 2018	
	Admisibles	Calculados DEPAV	Admisibles	Calculados DEPAV
	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
<b>σz</b>	4,42E+04	7,78E-01	5,57E+04	6,16E-01
<b>εz</b>	2,93E-03	4,66E-04	2,32E-03	3,66E-04
<b>εt</b>	5,84E-04	2,11E-04	4,72E-04	1,66E-04
<b>D</b>	1,81E+02	3,53E+01	1,77E+02	3,03E+01

## 4.10 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El procedimiento constructivo depende principalmente del equipamiento disponible. A continuación se describe los pasos a seguir, divididos principalmente en dos etapas: 1) Reciclaje de la carpeta existente y 2) Recapeo.

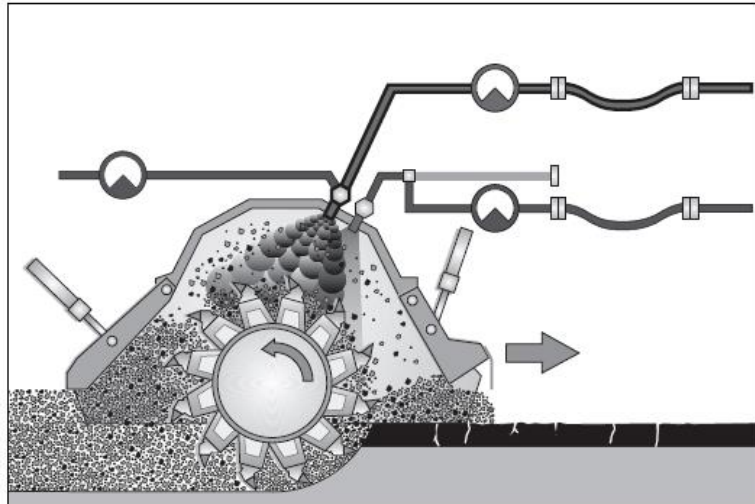
### 4.10.1 Reciclado de la carpeta existente

#### 4.10.1.1 Fresado

El elemento más importante de una máquina recicladora es el rotor fresador-mezclador equipado con un gran número de puntas, especialmente diseñadas para este proceso. El tambor normalmente rota y pulveriza el material del pavimento existente, como se ilustra en la Figura 29.

A medida que la máquina avanza con el tambor rotando, el agua de un tanque acoplado a la recicladora se llena mediante mangueras dentro de la cámara de mezclado de la recicladora. El flujo de agua es medido con precisión, mientras que el tambor mezcla el agua con el material reciclado para alcanzar el contenido necesario de humedad para conseguir altos niveles de compactación.

Figura 29. Fresado



#### 4.10.1.2 Incorporación de emulsión

Se procede con la incorporación de emulsión al 6%. Es necesario asegurarse el mezclado efectivo antes de que se produzca su rotura. Esto se logra con un contenido de humedad total superior a la de compactación. Este adicional de humedad requerido es menor cuanto mayor sea la energía de mezclado empleada. Por ello es aconsejable la utilización de mezcladores ambulo-operantes.

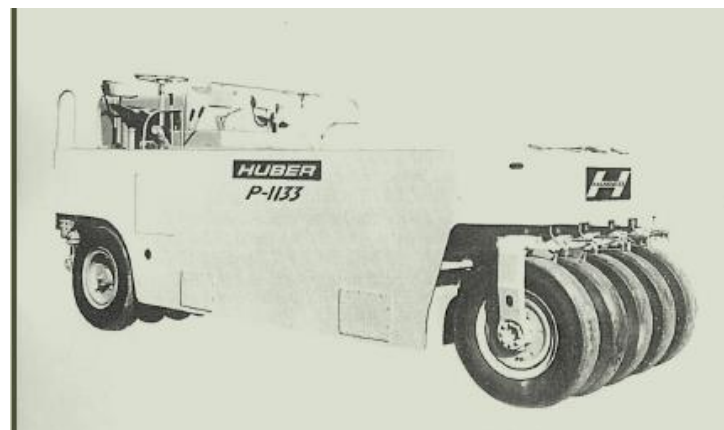
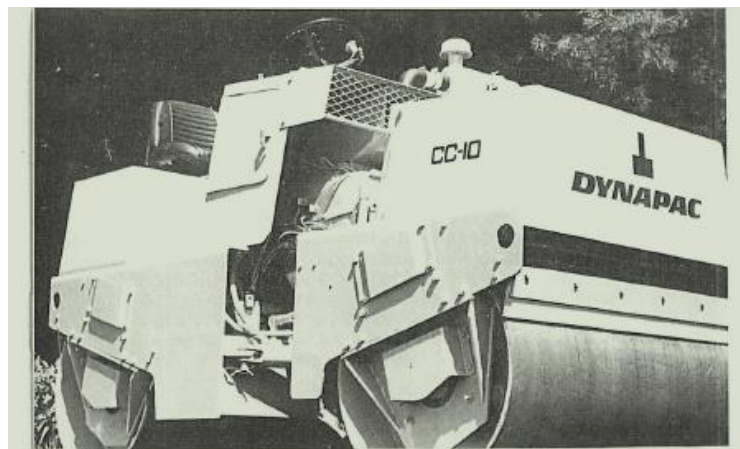
#### 4.10.1.3 Compactación

La compactación del material reciclado para obtener la densidad especificada es uno de los factores más determinantes en el futuro desempeño del pavimento rehabilitado. El material compactado en forma deficiente se va a densificar con el tráfico, causando ahuellamiento prematuro. Además de que aumenta la permeabilidad, haciendo inevitable una falla prematura en el pavimento. Por lo tanto es imprescindible que el proceso de compactación sea tratado como uno de los aspectos más importantes del reciclado.

Normalmente se utilizan tres rodillos para compactar el material detrás de la recicladora. Primero se posiciona un rodillo primario pesado (liso o “pata de cabra”), aplicando una compactación de alta amplitud de manera de densificar la parte inferior de la capa reciclada. Una vez alcanzada una compactación uniforme en los dos tercios inferiores de la capa reciclada, se utiliza una moto-niveladora para perfilar y obtener las cotas finales requeridas. A continuación, se debe

compactar utilizando un rodillo liso a baja amplitud y alta frecuencia para compactar la porción superior de la nueva capa. Cuando se utiliza una máquina sobre orugas, el material se deposita normalmente a través de una placa, dejando que el equipo compactador (rodillo vibratorio simple o doble) complete el proceso de compactación. Al término del proceso de compactación, se utiliza un rodillo neumático para lograr un acabado superficial liso.

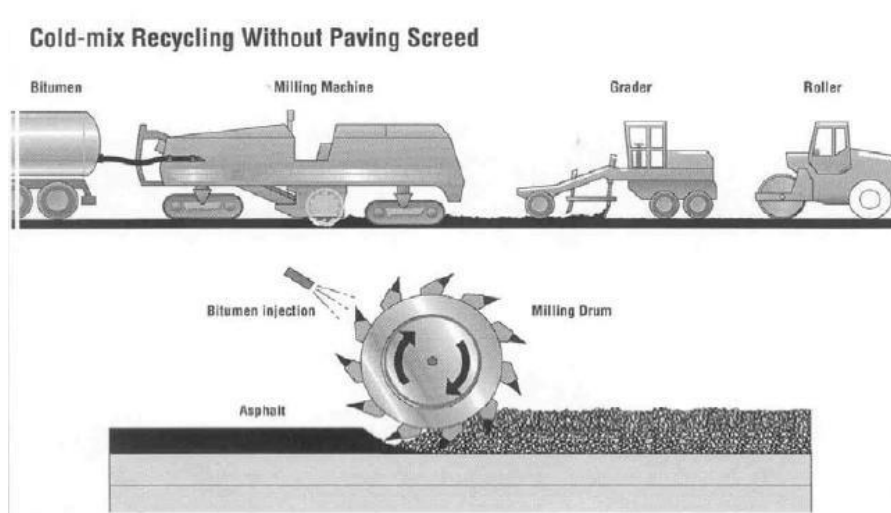
**Figura 30. Equipo de Compactación**



#### 4.10.1.4 Curado

Debe evaporarse parte del agua de la mezcla. Esto da como resultado un aumento de la resistencia mecánica de la capa, debido al incremento de cohesión aportada por la fracción arcillosa del suelo. Si bien el tiempo necesario para lograr la mayor resistencia mecánica puede prolongarse por varios meses, la habilitación al tránsito se realiza una vez finalizado el proceso de compactación.

Figura 31. Proceso de Reciclaje



#### 4.10.1.5 Riego de liga

El riego de liga se realizará con una emulsión asfáltica de rompimiento rápido y se debe verificar que haya ocurrido el curado antes de extender la mezcla. Si llega a transcurrir mucho tiempo desde la aplicación del riego de liga, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no haya disminuido, en cuyo caso, se deberá efectuar un riego de liga adicional. Cuando se presente una pendiente (longitudinal o transversal superior al 6%) se debe tener en cuenta en la dosificación de la emulsión el contenido de agua, de modo que no se produzca escurrimiento de agua antes del curado del riego de liga.



## **4.10.2 Sobre carpeta**

### **4.10.2.1 Mezcla**

Se realiza la mezcla en la planta del material pétreo caliente entre 150°C y 170 °C con el cemento asfáltico calentado a una temperatura de 130°C a 140°C hasta su completa homogenización, y por último se hará el vaciado al equipo de transporte. El concreto asfáltico debe elaborarse en caliente con material pétreo graduado de ¾" a finos y cemento asfáltico AC-20.

### **4.10.2.2 Transporte**

Se transporta la mezcla al tramo, donde llega con una temperatura de 110°C a 120°C.

### **4.10.2.3 Colocación**

Antes de colocar la mezcla, una vez obtenida la viscosidad adecuada, y después de barrida la superficie impregnada (libre de materias extrañas, polvo o charcos), se descarga la mezcla sobre una máquina extendedora (Finisher), la cual forma una franja de mezcla asfáltica y da una ligera compactación. Ver Figura No. 32.

**Figura 32. Colocación de sobrecarpeta**



#### 4.10.2.4 Compactación

A una temperatura mayor de 70°C se termina la compactación, utilizando al principio un rodillo liso tipo tándem de 7 ton en un par de veces mínimo de pasadas para dar un primer armado, y posteriormente un rodillo de neumáticos de 5-7 ton de peso y por último, rodillo liso para borrar las huellas del planchado. El grado de compactación será del 95%. Ver Figura 33.

Figura 33. Compactación de sobrecarpeta



Una vez realizados los trabajos de la carpeta reniveladora, la sección transversal debe cumplir con el bombeo transversal de proyecto.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- En el tramo de estudio “Guayllabamba – El Pisque”, en términos generales, predominan deterioros tipo fisuración en bloque y piel de cocodrilo, con porcentajes de área afectada entre el 60 y 80%.
- El tránsito de diseño proyectado para el año 2014 es de 7,4 millones de ejes equivalentes de 8,2 ton y para el año 2018 de 20 millones. Estas repeticiones se calcularon adoptando las cargas por eje las máximas permitidas por la regulación ecuatoriana.
- Analizando los valores medios de la deflexión máxima, se observa que varían entre 200  $\mu\text{m}$  y 1.800  $\mu\text{m}$ , indicando un comportamiento bastante heterogéneo a lo largo del tramo. En promedio tenemos una deflexión de 771  $\mu\text{m}$ , indicando una condición de “mala” del pavimento, el cual también se ve reflejado en el índice de daño de la base.
- El valor promedio del parámetro que califica cualitativamente la condición de la capa asfáltica (ICS) es de 276  $\mu\text{m}$ , clasificando a todo el tramo dentro de una condición “regular”.
- A nivel de materiales granulares o apoyo de la capa asfáltica los valores de IDB indican una condición de “malo” con un valor promedio de 244  $\mu\text{m}$ .
- La condición de la subrasante, evaluada mediante el parámetro ICB, es “mala” con un valor promedio de 112  $\mu\text{m}$ .
- La capacidad de la estructura del pavimento, en términos de  $S_{n\text{efectivo}}$ , varía entre 1,5 y 4,0, donde el valor máximo se encuentra en la abscisa Km

20+250, sector que presenta la menor deflexión máxima y mayor módulo resiliente de la subrasante, es decir, mejor capacidad de soporte. El sector que presenta la menor capacidad estructural se encuentra en la abscisa Km 20+100 y Km 20 + 300.

- Una vez evaluado el tramo en su totalidad bajo la metodología AASHTO 93 se encontró que en su mayoría el tramo presenta una deficiencia estructural para soportar las repeticiones de carga esperadas para el período de análisis 2012 – 2018. Lo anterior evidencia la necesidad de refuerzo estructural que permita soportar las repeticiones de carga proyectadas, en adición a la solución de los defectos superficiales presentes en el pavimento mediante el reciclado de la carpeta existente con adición de emulsión asfáltica.
- Como se puede ver, en adición a las deficiencias estructurales evidenciadas, se requiere la adopción de una solución que adicionalmente mitigue la progresión de fisuras y que, a la vez, permita una intervención no demasiado profunda, evitando una elevación de costos de rehabilitación. En aras de esto se plantea como alternativa de intervención el fresado de la capa de concreto asfáltico, una capa obtenida a partir de la mezcla del material de fresado con adición de emulsión asfáltica de rotura lenta. Sobre esta capa reciclada, se colocará concreto asfáltico tipo mezcla densa en caliente.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Dado los espesores de la capa asfáltica, no resulta recomendable el reemplazo total de dicha capa para la supresión de la progresión de las fisuras, ya que esta práctica significaría una carga onerosa para la intervención por parte de la concesión. Por tal motivo, la alternativa planteada busca la recuperación del material existente, que permita igualmente solventar las carencias estructurales y mitigar la progresión de deterioros actuales.

- La estimación del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 ton ha partido del supuesto simplificador de asumir los ejes proyectados cargados a la máxima carga legal permitida. Es importante resaltar la necesidad de obtener la mayor certeza posible en los valores de los espectros de carga esperados, toda vez que dicho insumo es altamente sensible dentro de la evaluación estructural del pavimento y su fiabilidad depende en alto grado de la certeza del valor del tránsito esperado.
- De igual manera, se recomienda realizar conteos de tránsito en el tramo en estudio, que confirmen los datos obtenidos en base a la información proveniente del Peaje de Cochasqui.

## Referencia Bibliográfica

Badilla Vargas, Gustavo A. – Sibaja Obando, Denia. (2010) ***Análisis de la Respuesta Estructural de Pavimentos mediante Deflectometría de Impacto (FWD) en diferentes épocas del año en Costa Rica.*** Costa Rica – Ingeniería 20 (1 y 2).

Bonifaz, Hugo. ***Apuntes de curso Pavimentos.*** Universidad Internacional del Ecuador. Quito, 2011.

Cordo, Oscar V. (1998) ***Manual de Diseño de Pavimentos en base al Método AASHTO – 93.*** Bolivia: Escuela de Caminos de Montaña de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan.

Coronado Iturbide, Jorge (2002) ***Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.*** Guatemala: Secretaria de Integración Económica Centroamericana.

***Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes MOP – 001F – 2002.*** Ecuador. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.

González, Ruben – Soengas, Cecilia – Botasso, Gerardo. ***Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos en Áreas Urbanizadas.*** Argentina: U.T.N. – Facultad Regional La Plata.

Montejo Fonseca, Alfonso (2002) ***Ingeniería de Pavimentos para Carreteras.*** (2da. Edición). Bogotá D. C: Universidad Católica de Colombia.

Rondón Quintana, Hugo Alexander – Reyes Lizcano, Fredy Alberto. (2007) ***Metodologías de Diseño y de Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances y Limitaciones.*** Bogota: Ciencia e Ingeniería Neogranadina.

Sierra Bolaño, Yulani Mariet (2009) ***Diseño de Pavimentos de la Carretera 46, entre Calles 75 y 77 Sur, Sabaneta*** (Disertación de Especialista en Vías y Transporte), Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Torres E., Milton (2010). ***Curso de Diseño de Pavimentos para Carreteras y Aeropuertos***. Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.

Wirtgen GmbH. (2004) ***Manual de Reciclado en Frío***. Alemania: Hohner Strasse 2.

## **ANEXOS**



## **Anexo No. 1. Fotografías de Toma de Densidades en Calicatas**

## **Anexo No. 2. Fotografías de núcleos extraídos**

### **Anexo No. 3. Registros de Excavación a Cielo Abierto**

## **Anexo No. 4. Ensayos de Densidad de Campo**

## **Anexo No. 5. Ensayos de Clasificación SUCS**

## **Anexo No. 6. Resumen de Espesores**

## **Anexo No. 7. Ensayos de CBR Base**

## **Anexo No. 8. Ensayos de CBR Subrasante**



## **Anexo No. 9. Equivalente de Arena**

## **Anexo No. 10. Granulometría de la Carpeta Asfáltica**

## **Anexo No. 11. Contenido de Materia Orgánica**

## **Anexo No. 12. Resumen de Ensayos**