

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA REHABILITACIÓN
DE LOS 5 PRIMEROS KILÓMETROS DE LA VÍA RÍO CLARO - ROBLES**

MARIELA ARIAS POLENTINO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
PROGRAMA ACADÉMICO INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI, SEPTIEMBRE DE 2011**

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA REHABILITACIÓN
DE LOS 5 PRIMEROS KILÓMETROS DE LA VÍA RÍO CLARO - ROBLES**

MARIELA ARIAS POLENTINO

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director

Profesor DIEGO DUQUE ARANGO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
SANTIAGO DE CALI, SEPTIEMBRE DE 2011**

Nota de Aceptación

Firma del Director de la Investigación

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Santiago de Cali, Septiembre 13 de 2011

A quienes hicieron parte de este recorrido, siendo el punto de partida y la motivación para continuar con los proyectos que he emprendido, sugiriendo alternativas cuando en algún momento encontré obstáculos para avanzar, enseñando el manejo de algunas aplicaciones o compartiendo experiencias en diversas facetas de mi vida.

“El éxito se alcanza convirtiendo cada paso en una meta y cada meta en un paso”
C. C. Cortez.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos a las personas que de una u otra forma colaboraron en la elaboración del presente trabajo:

A Dios por brindarme el privilegio de formarme profesionalmente y haber conocido en este proceso a tantas personas valiosas que espero siempre me acompañen.

Al Profesor Diego Duque, Director de Tesis, por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica, fundamentales para la realización de este trabajo.

Al Geotecnólogo Carlos Manrique, por sus valiosas sugerencias y acertados aportes sobre el tema de mecánica de suelos y pavimentos; lo cual fue de gran importancia para el desarrollo de este trabajo.

A los laboratoristas Noé Durán y William Viveros por su apoyo técnico en los diferentes ensayos de campo.

A mis compañeros, compañeras y profesores de Ingeniería Civil, por todos los momentos alegres y lecciones aprendidas durante todo este tiempo.

A mi familia por su cariño, comprensión y constante estímulo.

Tabla de contenido

RESUMEN	1
1. GENERALIDADES.....	2
1.1. LOCALIZACIÓN	2
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA VÍA EN ESTUDIO	3
1.3. ACTIVIDAD ECONÓMICA.....	3
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	7
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
5. ESTADO DEL ARTE	8
6. MARCO TEÓRICO	12
6.1 Pavimento	12
6.1.1. Funciones de un pavimento.....	12
6.1.2. Características de un pavimento	13
6.1.3. Clasificación de pavimentos	13
6.1.4. Factores a considerar en el diseño de pavimentos	13
6.2. Pavimento Rígido	14
6.2.1. Definición	14
6.2.2. Elementos que integran un pavimento rígido	15
6.2.3. Tipos de Pavimento Rígido.....	16
6.2.4. Juntas en Pavimentos Rígidos.....	16
6.2.5. Daños en Pavimentos Rígidos.....	18
6.2.6. Alternativas de Rehabilitación en Pavimentos Rígidos	38
6.3. Pavimento Flexible	43
6.3.1. Definición	43
6.3.2. Elementos que integran un pavimento flexible	43
6.4. Sistemas de drenaje	44
6.5. Ensayos de Laboratorio	45
7. METODOLOGÍA.....	47
8. ESTUDIOS PRELIMINARES	48

8.1.	Estudios de tránsito vehicular	48
8.1.1.	Aforos de tránsito	48
8.1.2.	Cálculo del Tránsito Promedio Diario (TPD)	50
8.1.3.	Determinación del factor camión	53
8.2.	Inspección visual	54
8.2.1.	Características del pavimento	54
8.2.2.	Estructura del pavimento	55
8.2.3.	Evaluación de daños superficiales	56
8.3.	Estudio de suelos	92
8.4.	Estructuras de drenaje	101
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	107
10.	DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	111
10.1.	Alternativa 1. Pavimento flexible (n = 10 años)	111
10.1.1.	Consideraciones de diseño	111
10.1.2.	Parámetros de diseño	115
10.1.3.	Cálculo de los parámetros de diseño sector K0+000-K4+000	118
10.2.	Alternativa 2. Pavimento flexible (n = 20 años)	124
10.2.1.	Cálculo de los parámetros de diseño sector K0+000 – K4+000	124
10.3.	Alternativa 3. Pavimento rígido (n = 20 años)	127
11.	PRESUPUESTO INICIAL PARA LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN	135
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138
13.	BIBLIOGRAFÍA	139

Lista de tablas

Tabla 8.1. Volumen de tránsito en el sector K0+000 a K4+000.....	50
Tabla 8.2. Volumen de tránsito en el sector K4+000 a K5+000.....	50
Tabla 8.3. Volumen de tránsito en el sector K0+000 a K4+000 (incluyendo tránsito 6 pm a 6 am)	51
Tabla 8.4. Volumen de tránsito en el sector K4+000 a K5+000 (incluyendo tránsito 6 pm a 6 am)	51
Tabla 8.5. Valores de TPDS para cada tipo de vehículo. Sector K0+000 a K4+000.....	52
Tabla 8.6. Valores de TPDS para cada tipo de vehículo. Sector K4+000 a K5+000.....	52
Tabla 8.7. Factores de equivalencia	53
Tabla 8.8. Franjas granulométricas para material de afirmado recomendadas por el INVIAS ..	93
Tabla 8.9. Requisitos de los agregados para afirmados recomendados por el INVIAS	93
Tabla 8.10. Resultados de los ensayos realizados al material de afirmado	94
Tabla 8.11. Valores de CBR del material de subrasante	94
Tabla 8.12. Resultados de las pruebas de esclerometría	95
Tabla 10.1. Categorías de carga por eje	129
Tabla 10.2. Tipos de suelos de subrasante y valores aproximados de k	130
Tabla 10.3. Tasas anuales de crecimiento de tránsito (r) y sus correspondientes factores de proyección.....	131
Tabla 10.4. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga.....	132
Tabla 10.5. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga.....	132
Tabla 10.6. Resumen de alternativas de rehabilitación	133
Tabla 10.7 Resumen de alternativas de rehabilitación teniendo en cuenta los espesores mínimos requeridos para la ciudad de Cali.....	134
Tabla 11.1. Presupuesto alternativa 1	135
Tabla 11.2. Presupuesto alternativa 2.....	136
Tabla 11.3. Presupuesto alternativa 3.....	137

Lista de Fotografías

Fotografía 8.1. Grietas en bloque sector K0+000 a K0+286 (Ref. 6.2.5.5)	56
Fotografía 8.2. Grietas de esquina sector K0+000 a K0+286 (Ref. 6.2.5.1)	57
Fotografía 8.3. Grietas longitudinales sector K0+000 a K0+286 (Ref. 6.2.5.2)	57
Fotografía 8.4. Grietas en bloque sector K0+286 a K0+500 (Ref. 6.2.5.5)	58
Fotografía 8.5. Grietas de esquina sector K0+286 a K0+500 (Ref. 6.2.5.1)	59
Fotografía 8.6. Grietas longitudinales sector K0+286 a K0+500 (Ref. 6.2.5.2)	59
Fotografía 8.7. Grietas transversales sector K0+500 a K0+650 (Ref. 6.2.5.3)	60
Fotografía 8.8. Grietas de esquina sector K0+500 a K0+650 (Ref. 6.2.5.1)	60
Fotografía 8.9. Grietas longitudinales sector K0+500 a K0+650 (Ref. 6.2.5.2)	61
Fotografía 8.10. Grietas en bloque sector K0+650 a K0+723 (Ref. 6.2.5.5)	62
Fotografía 8.11. Grietas transversales sector K0+650 a K0+723 (Ref. 6.2.5.3)	62
Fotografía 8.12. Grietas de esquina sector K0+650 a K0+723 (Ref. 6.2.5.1)	63
Fotografía 8.13. Grietas longitudinales sector K0+650 a K0+723 (Ref. 6.2.5.2)	63
Fotografía 8.14. Grietas en bloque sector K0+723 a K0+921 (Ref. 6.2.5.5)	64
Fotografía 8.15. Grietas de esquina sector K0+723 a K0+921 (Ref. 6.2.5.1)	65
Fotografía 8.16. Grietas longitudinales sector K0+723 a K0+921 (Ref. 6.2.5.2)	65
Fotografía 8.17. Grietas en bloque sector K0+921 a K1+000 (Ref. 6.2.5.5)	66
Fotografía 8.18. Grietas de esquina sector K0+921 a K1+000 (Ref. 6.2.5.1)	67
Fotografía 8.19. Grietas longitudinales sector K0+921 a K1+000 (Ref. 6.2.5.2)	67
Fotografía 8.20. Grietas en bloque sector K1+000 a K1+150 (Ref. 6.2.5.5)	68
Fotografía 8.21. Grietas longitudinales sector K1+000 a K1+150 (Ref. 6.2.5.2)	69
Fotografía 8.22. Grietas transversales sector K1+150 a K1+300 (Ref. 6.2.5.3)	70
Fotografía 8.23. Grietas de esquina K1+150 a K1+300 (Ref. 6.2.5.1)	70
Fotografía 8.24. Grietas longitudinales K1+150 a K1+300 (Ref. 6.2.5.2)	71
Fotografía 8.25. Grietas en bloque sector K1+300 a K1+620 (Ref. 6.2.5.5)	72
Fotografía 8.26. Grietas transversales sector K1+300 a K1+620 (Ref. 6.2.5.3)	72
Fotografía 8.27. Grietas en bloque sector K1+620 a K1+775 (Ref. 6.2.5.5)	73
Fotografía 8.28. Grietas longitudinales sector K1+620 a K1+775 (Ref. 6.2.5.2)	74
Fotografía 8.29. Grietas en bloque sector K1+775 a K2+000 (Ref. 6.2.5.5)	75
Fotografía 8.30. Grietas en bloque sector K2+000 a K2+245 (Ref. 6.2.5.5)	76
Fotografía 8.31. Escalonamiento de juntas longitudinales sector K2+000 a K2+245 (Ref. 6.2.5.14)	76
Fotografía 8.32. Sector K2+245 a K2+282	77
Fotografía 8.33. Grietas en bloque sector K2+282 a K2+585 (Ref. 6.2.5.5)	78
Fotografía 8.34. Grietas en bloque sector K2+585 a K3+000 (Ref. 6.2.5.5)	79
Fotografía 8.35. Grietas transversales sector K2+585 a K3+000 (Ref. 6.2.5.3)	79
Fotografía 8.36. Grietas en bloque sector K3+000 a K3+150 (Ref. 6.2.5.5)	80
Fotografía 8.37. Grietas transversales sector K3+000 a K3+150 (Ref. 6.2.5.3)	81
Fotografía 8.38. Grietas en bloque sector K3+150 a K4+000 (Ref. 6.2.5.5)	82
Fotografía 8.39. Hundimientos sector K3+150 a K4+000 (Ref. 6.2.5.17)	82
Fotografía 8.40. Escalonamiento longitudinal sector K3+150 a K4+000 (Ref. 6.2.5.14)	83
Fotografía 8.41. Grietas en bloque sector K4+000 a K4+789 (Ref. 6.2.5.5)	83

Fotografía 8.42. Hundimientos sector K4+000 a K4+789 (Ref. 6.2.5.17)	84
Fotografía 8.43. Rastros de sobrecarpeta asfáltica sector K4+000 a K4+789	84
Fotografía 8.44. Baches sector K4+000 a K4+789 (Ref. 6.2.5.12).....	85
Fotografía 8.45. Desintegración sector K4+000 a K4+789 (Ref. 6.2.5.11).....	85
Fotografía 8.46. Grietas en bloque sector K4+789 a K4+806 (Ref. 6.2.5.5)	86
Fotografía 8.47. Grietas en bloque sector K4+806 a K4+815 (Ref. 6.2.5.5)	87
Fotografía 8.48. Grieta longitudinal sector K4+815 a K4+899 (Ref. 6.2.5.2).....	87
Fotografía 8.49. Grieta transversal sector K4+815 a K4+899 (Ref. 6.2.5.3)	88
Fotografía 8.50. Grietas en bloque sector K4+815 a K4+899 (Ref. 6.2.5.5)	88
Fotografía 8.51. Grietas de esquina sector K4+815 a K4+899 (Ref. 6.2.5.1).....	89
Fotografía 8.52. Presencia de humedad en grietas K4+850.....	89
Fotografía 8.53. Presencia de humedad en grietas K4+850 (Ref. 6.2.5.5)	90
Fotografía 8.54. Grietas en bloque sector K4+939 a K5+000 (Ref. 6.2.5.5)	91
Fotografía 8.55. Grieta transversal sector K4+939 a K5+000 (Ref. 6.2.5.3)	91
Fotografía 8.56. Deterioro del sello (Ref. 6.2.5.8).....	92
Fotografía 8.57. Alcantarilla en cajón.....	102
Fotografía 8.58. Alcantarilla en cajón.....	102
Fotografía 8.59. Alcantarilla en cajón.....	103
Fotografía 8.60. Alcantarilla con doble tubería.....	103
Fotografía 8.61. Alcantarilla de tubería.....	104
Fotografía 8.62. Alcantarilla de tubería.....	104
Fotografía 8.63. Alcantarilla rectangular.....	105
Fotografía 8.64. Alcantarilla circular	105
Fotografía 9.1. Ausencia de estructuras de drenaje de aguas superficiales	107
Fotografía 9.2. Problemas de drenaje de aguas freáticas	108
Fotografía 9.3. Ausencia de sello en juntas.....	108
Fotografía 9.4. Volquetas cargadas con productos mineros.....	109
Fotografía 9.5. Infiltración de agua en juntas y grietas.....	110

Lista de figuras

Figura 1.1 Localización del sector de la vía en estudio.....	2
Figura 6.1. Sección típica de un pavimento.....	12
Figura 6.2. Esquema representativo de un pavimento de concreto	15
Figura 8.1. Estructura del pavimento existente	55
Figura 8.2. Resultados de las pruebas de esclerometría	95
Figura 8.3. Estratigrafía apique No. 1	96
Figura 8.4. Estratigrafía apique No. 2	97
Figura 8.5. Estratigrafía apique No. 3	98
Figura 8.6. Estratigrafía apique No. 4	99
Figura 8.7. Estratigrafía apique No. 5	100
Figura 8.8. Estratigrafía apique No. 6	100
Figura 8.9. Estratigrafía apique No. 7	101
Figura 10.1. Estructura tricapa de un pavimento flexible	112
Figura 10.2. Curva que satisface el criterio de deformación por tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas	113
Figura 10.3. Curva que satisface el criterio de deformación vertical por compresión en la subrasante.....	114
Figura 10.4. Envolvente que satisface simultáneamente ϵ_V y ϵ_T	114

RESUMEN

Éste documento tiene como objetivo principal proponer un diseño adecuado para la rehabilitación de un pavimento ubicado sobre la vía Jamundí – Robles; el sector estudiado está compuesto por pavimento rígido, tiene una longitud de 5 Km y empieza en el puente de Río Claro.

Con el fin de entender el comportamiento del pavimento existente y teniendo en cuenta que no se encontró información disponible acerca de éste, se realizaron distintos métodos de investigación tales como inspecciones visuales, apiques y estudios de laboratorio.

La inspección visual de la vía se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones dadas en el “Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos”, con este estudio se llegó a la conclusión de que solo un 14% de las losas que componen el tramo están en condiciones aceptables, el resto de ellas presentan un grado de deterioro muy alto.

Los apiques realizados permitieron determinar que la estructura del pavimento existente está compuesta por una capa de relleno granular que tiene espesores que van desde los 30 a los 38 cm y por losas de concreto hidráulico que tienen un espesor de 17 cm, presentándose espesores un poco menores en sitios puntuales.

Con el fin de caracterizar los materiales que componen las distintas capas de la estructura del pavimento, se hicieron ensayos de laboratorio a las muestras de suelo obtenidas de los apiques realizados, tales como límites de Atterberg, granulometría por tamizado y CBR. Mediante los resultados de estos ensayos se pudo determinar que el material granular ubicado debajo de las losas no cumple con los requisitos de los agregados para afirmados dados en las especificaciones actuales del INVIAS.

Los volúmenes de tránsito se determinaron mediante tres aforos manuales, realizados con períodos de doce horas (6:00 am –6:00 pm) cada uno.

Con base en los resultados obtenidos de los diferentes métodos de investigación realizados, se llegó a la conclusión de que la mejor alternativa de rehabilitación es el retiro total de las losas, teniendo en cuenta esto, se propusieron dos alternativas: la primera consiste en colocación de una carpeta asfáltica, mientras que la segunda consiste en la colocación de losas de concreto, en ambas opciones se considera la conservación del material de relleno granular existente.

Palabras clave: Pavimento rígido, rehabilitación, concreto hidráulico, límites de Atterberg, granulometría, aforos vehiculares.

1. GENERALIDADES

1.1. LOCALIZACIÓN

El sector en estudio hace parte de la vía Jamundí – Robles, comenzando en el puente de Río Claro situado a 5 Km del municipio de Jamundí y terminando a 5 Km a partir de allí (Figura 1.1).

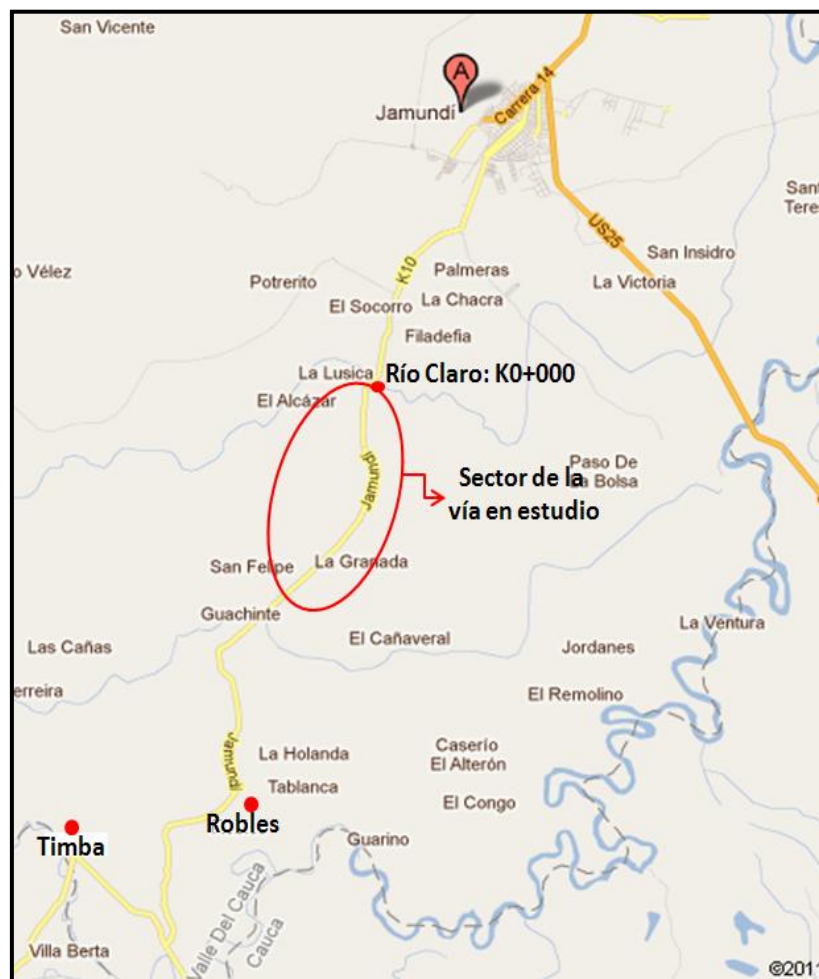


Figura 1.1 Localización del sector de la vía en estudio. (tomado de google maps)

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA VÍA EN ESTUDIO

La carretera Jamundí – Robles es una importante vía que comunica al municipio de Jamundí (120.000 habitantes) con los corregimientos de Robles (2.264 h) y Timba en límites con el departamento del Cauca, además beneficia a poblaciones aledañas a la zona como Villa Paz, Villa Colombia, Potrerito, Guachinte entre otros.

La sección de la vía estudiada en este proyecto está conformada por una estructura de pavimento rígido y compuesta por dos carriles de 3 m de ancho. Según información suministrada por habitantes de la zona, esta estructura fue construida hace aproximadamente 25 años.

Las losas que hacen parte del sector estudiado presentan un nivel de deterioro muy alto.

1.3. ACTIVIDAD ECONÓMICA

La economía, agrícola, ganadera y minera, de la zona en la que se encuentra ubicada la vía Jamundí – Robles está demarcada principalmente en el cultivo de caña de azúcar, cultivo de arroz, ganadería de ceba y leche, explotación de carbón, oro, plata y bauxita, además de la actividad turística y recreacional.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Cuando una carretera presenta daños en la estructura del pavimento son muchas las opciones disponibles hoy en día para rehabilitarla, por esta razón es importante realizar un estudio detallado de cada una de estas, pues dependiendo aspectos técnicos y económicos unas resultarán más favorables que otras.

La vía Río Claro – Robles es una carretera conformada por pavimento rígido que comunica a Jamundí con los corregimientos de Robles y Timba ubicados en cercanías con el Departamento del Cauca. Debido al alto grado de deterioro que presenta la vía y a las consecuencias negativas que esto trae para sus usuarios, los habitantes Jamundí y los corregimientos afectados emprendieron acciones de tipo jurídico contra el Departamento, por lo que éste tiene un plazo ya definido para realizar tareas de rehabilitación a la vía en mención.

Este trabajo busca entonces dar respuesta al siguiente interrogante:

¿Cuáles son las opciones de rehabilitación para los problemas de deterioro que presenta la vía Río Claro - Robles en sus primeros 5 kilómetros?

3. JUSTIFICACIÓN

La carretera Río Claro-Robles es una importante vía que hace parte de la malla vial del Departamento del Valle del Cauca y comunica a Jamundí con los corregimientos de Robles y Timba en límites con el Departamento del Cauca; los 5 kilómetros de esta vía, que serán objeto de estudio en este proyecto, están conformados por pavimento rígido y presentan un alto grado deterioro en su capa de rodamiento.

La importancia de esta carretera radica en que es una vía de acceso a múltiples canteras de pétreos, carbón y otros productos minerales como oro, plata y bauxita y a que atraviesa unas enormes planicies donde se desarrolla la ganadería y el cultivo de caña de azúcar y arroz, además de lugares con considerable importancia turística y recreacional. Debido a esto es considerable el número de buses, camiones de carga y trenes cañeros que transitan por este sector, además de los vehículos particulares y microbuses que transportan a las personas a sus lugares de trabajo, estudio, etc. Sin embargo, por el considerable deterioro de la vía, las velocidades que se deben manejar son lentas, por lo que los tiempos de traslado de mercadería y personas han aumentado, incrementando de esta manera los costos de transporte y también los de operación. Esta situación ha causado problemas de orden público, pues se han generado huelgas, bloqueos de esta vía y demandas contra el Departamento del Valle.

Es importante mencionar que la elección de una buena técnica de rehabilitación podría traer muchos beneficios económicos y sociales a los usuarios de la vía y a los habitantes de los corregimientos cercanos a ella, algunos de ellos son:

- Se podría aumentar la frecuencia y número de visitantes a sitios de interés turístico y recreacional cercanos a la vía como el balneario Río Claro o el corregimiento de Timba, cuyo principal atractivo es el río que lleva su mismo nombre y que se caracteriza por sus aguas cristalinas y de buen caudal aptas para hacer recorridos sobre neumáticos, también se puede incrementar el número de visitantes de el Humedal el Avispal, ubicado en el corregimiento de Villa Paz o al corregimiento de Robles que ostenta un gran valor patrimonial, ya que conserva aún la arquitectura colonial de sus grandes casas.
- Con el aumento de turistas, las familias que viven de esto podrán tener mejores beneficios económicos.
- Se crearán nuevos puestos de trabajo por la rehabilitación de la carretera.
- El tiempo de traslado de mercancía y productos mineros disminuiría, reduciéndose al mismo tiempo los costos.

- Se reducirían los costos de operación de los vehículos que involucran factores como consumo de combustibles, lubricantes, llantas, costos de repuestos, mano de obra en el mantenimiento de los vehículos y costos de tripulación (en el caso de vehículos comerciales).
- Los usuarios de la vía disfrutarían de un recorrido mucho más rápido, cómodo y seguro hacia su lugar de destino.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar algunas alternativas de rehabilitación apropiadas para los 5 primeros kilómetros de la vía Río Claro-Robles mediante una metodología adecuada para el estudio de la patología del pavimento.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el estado funcional de la vía.
- Determinar la presencia de daños tanto superficiales como estructurales, condiciones de drenaje y otras variables que pudieron comprometer la estabilidad de la carretera.
- Realizar una clasificación de los suelos que conforman las capas del pavimento y definir un perfil estratigráfico de la conformación de la misma para determinar el estado de la vía.
- Proponer opciones de rehabilitación de acuerdo al estado de la vía.

5. ESTADO DEL ARTE

La incidencia de factores de diversos orígenes determina alteraciones de la superficie de rodamiento de los pavimentos que afectan la seguridad, comodidad y velocidad con que debe circular el tránsito vehicular presente y futuro. La finalidad fundamental de todo proceso de mantenimiento o rehabilitación de los pavimentos en servicio, es corregir los defectos mencionados para alcanzar un grado de transitabilidad adecuado durante un período de tiempo suficientemente prolongado que justifique la inversión necesaria.

A continuación se mencionan algunos casos particulares de rehabilitación de pavimentos rígidos:

En España, entre los años 2002 y 2004, se rehabilitaron varios tramos de la autopista AP-7 con una tecnología que utiliza mezclas bituminosas con betunes de alto contenido de caucho (20%), esta autopista transcurre entre Tarragona y Valencia y cuenta con una longitud total de unos 20 kilómetros de calzada. Los tramos cuya rehabilitación se planteaba estaban constituidos por losas de hormigón de 25cm de espesor, sin pasadores, sobre una capa de grava-cemento de 20cm de espesor. La longitud de las losas es variable, predominando valores de 3,8 – 5,8 – 4,0 – 5,0 metros. La sección transversal es de 2 carriles con una ancho total de 7,5 metros, más un berma exterior de 2,5 metros y uno interior. El estado del pavimento en los tramos que se estudiaron podría caracterizarse por la existencia de movimiento entre losas consecutivas, debido a la erosión en el apoyo de las mismas y, esporádicamente, por la aparición de losas fisuradas. [1]

La solución adoptada con mezclas bituminosas con cemento asfáltico de alto contenido de caucho consistió en un riego de adherencia directamente sobre las losas y sobre el riego una capa única de mezcla con cemento asfáltico de alto contenido de caucho. El espesor de mezcla fluctuó entre 4 y 6 centímetros, según las características de cada tramo. Esta técnica de rehabilitación ha ofrecido un comportamiento excelente, sin que se hayan observado fisuras reflejadas [1].

En El Calafate, Argentina se rehabilitó, mediante un recubrimiento con adoquines de hormigón, la avenida de ingreso a la localidad que presentaba en general un deterioro importante. El recubrimiento se realizó sobre el pavimento de hormigón existente en una superficie aproximada de 8400 m² [2].

En Puerto Santa Cruz, Argentina se realizó un recubrimiento con adoquines de hormigón, en la avenida principal por la cual se ingresa a la ciudad. Se rehabilitaron 16000 m² de pavimentos de hormigón deteriorados en la avenida principal, y 4000 m² más repartidos en distintas calles con deterioros en pavimentos de hormigón y pavimentos asfálticos. En la mayoría de los casos los pavimentos a rehabilitar tenían 28 años de edad [2].

G. Thenoux y M. González realizaron un estudio a escala real de la capacidad estructural de un pavimento de hormigón rehabilitado utilizando la técnica de Rubblizing, que es un efecto combinado de trituración y fracturación de la losa de hormigón en todo su espesor para convertir ésta en una base granular de alto módulo. Esta técnica fractura la losa de hormigón en trozos angulares y entrelazados empleando una carga dinámica concentrada, de baja amplitud y alta frecuencia. La investigación se basó en el estudio de la rehabilitación de 5 km de la Autopista del Sol en la zona central de Chile. Los estudios de la capacidad estructural fueron realizados durante, al término y un año después de la construcción. Para las mediciones y evaluaciones de terreno se utilizó, el DCP, Deflectómetro de Impacto Liviano, FWD (sobre carpeta asfáltica) y excavando calicatas o apiques bajo el material triturado. La capacidad estructural del material triturado se realizó a través de un análisis teórico. El programa experimental realizado permitió determinar el coeficiente estructural del Rubblizing y demostrar que éstos son mayores que los de una base con CBR = 80-100%. Aunque los valores de coeficiente estructural determinados mediante el LFWD fueron menores que los obtenidos con el FWD, se recomienda usar los valores estimados mediante FWD. Los resultados del estudio permiten recomendar un rango para el coeficiente estructural del pavimento sometido al proceso de Rubblizing, el cual para espesores de losa superior a 22 cm está entre 0,25 a 0,30, que son más cercanos a los obtenidos un año después de realizado el proceso de Rubblizing. Esta recomendación se fundamenta en el siguiente análisis [3]:

- Queda demostrado que el hormigón triturado/pulverizado aumentará su resistencia a medida que los trozos fracturados se ajusten completamente, producto de los procesos de compactación y el amasado del tránsito. Este ajuste es imperceptible y no acarrea deformaciones acumuladas a la estructura del firme [3].
- Por otra parte, se conoce que las mezclas asfálticas son capaces de acomodar pequeñas deformaciones (1 mm) en sus primeros años de vida (2 a 3 años), mientras conservan parte de sus características visco-elásticas, por lo cual, con el paso del tránsito, permite acomodar deformaciones muy pequeñas sin absorber tensiones por fatiga y de este modo permite que la capa de hormigón triturada/fracturada incremente su capacidad estructural a valores cercanos a 0,35, de acuerdo a mediciones realizadas en el proyecto en estudio [3].
- Pese a lo anterior, para firmes delgados (espesores de losa menores a 20 cm) y/o hormigones fabricados con áridos de canto rodado se recomienda utilizar valores más conservadores ($< 0,25$) dado que estas características del firme afectan la capacidad estructural del Rubblizing [3].

En Shanghái, la Autoridad Municipal de Carreteras de Shanghái (AMCS) experimentó la trituración con rompedor resonante como un método rentable para la rehabilitación de pavimentos de concreto articulado deteriorados. Se concluyó que la trituración con rompedor resonante proporciona una opción

viable para la rehabilitación de pavimentos de concreto articulado deteriorados, pues las secciones de pavimento triturado se comportaron muy bien y sin dificultades visibles. Además de la ventaja de costos sobre la reconstrucción, el rompedor resonante también produjo una perturbación mínima durante la trituración debido a su bajo impacto y alta frecuencia de trabajo; de hecho, no hubo quejas durante la trituración por parte de los propietarios de negocios y residentes de la carretera Huchinping y Broadway Kim Shan. Se observó que era muy eficaz utilizar agua durante la compactación de una superficie de pavimento de concreto articulado triturado para mejorar la eficiencia de la compactación y para controlar el polvo. Los módulos de pavimento de concreto articulado triturado promedio se encontraron de 1,323 a 1,375 MPa, que están dentro del rango reportado en la literatura. Se hicieron esfuerzos para determinar el impacto de la trituración en la rigidez de la base, subbase y subrasante y se concluyó que no era tan perjudicial. Además, los valores de los módulos se incrementarán con el tiempo hasta que alcancen un valor de equilibrio. Se puede decir entonces que la trituración con rompedor resonante proporcionó a la AMCS una herramienta competitiva en costos para la rehabilitación de pavimentos de concreto articulado deteriorados [4].

En la Transversal de Boyacá (Chiquinquirá – Otanche – Puerto Boyacá) se hará rehabilitación y mejoramiento de la vía en pavimento rígido, en puntos críticos del tramo Puerto Boyacá – Dos y Medio – Otanche – San Pablo de Bobur – Chiquinquirá. Las dimensiones serán: Vía en calzada sencilla, con ancho de calzada de 7,30 metros y bermas y cunetas de 0,75 metros. La placa de concreto del pavimento será de 20 centímetros de espesor [5].

Entre las calles 134 y 124 de la ciudad de Bogotá el IDU realizó los trabajos de reparación de 59 losas a partir del 1 de marzo de 2010 [6].

En este sector se realizó la demolición del concreto existente, se retiraron las capas hasta llegar al relleno fluido el cual también fue retirado, luego se verificaron las condiciones de los suelos, se instalaron drenajes perimetrales que se conectan a sumideros, se colocaron bases en asfalto y se procedió a construir de nuevo la losa en concreto [6].

Adicionalmente, una semana después, es decir a partir del 8 de marzo y durante 3 semanas se realizaron obras en la calzada mixta oriental. En un tramo comprendido entre las calles 142 y 144 se reconstruyeron 14 losas de concreto que se encontraban fracturadas y generaban problemas para la movilidad [6].

Estos trabajos estuvieron a cargo de Conalvías S.A. con la Interventoría de la Unión Temporal Interurbanos [6].

En la troncal Caracas en el sector de las calles 34 a 36, en la ciudad de Bogotá, el IDU inició el día 28 de abril de 2010 la reparación de 38 losas de concreto que se encontraban fracturadas en la calzada de Transmilenio del costado oriental [7].

En este tramo que tenía una longitud de 250 metros lineales, la intervención se realizó en dos etapas. En la primera se intervinieron 16 losas de uno de los carriles, y cuando se terminó se intervino el otro carril de la calzada de Transmilenio [7].

Para cambiar las losas fracturadas se demolió el concreto existente, se retiraron las capas hasta llegar al relleno fluido el cual también fué retirado, luego se verificaron las condiciones de los suelos, se instalaron drenajes perimetrales que se conectan a sumideros, se colocaron bases en asfalto y se procedió a construir de nuevo la losa en concreto [7].

Las obras en la Troncal Caracas fueron ejecutadas por el Consorcio Mantenimiento Caracas 2009 con la interventoría de la Unión Temporal Interurbanos [7].

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Pavimento

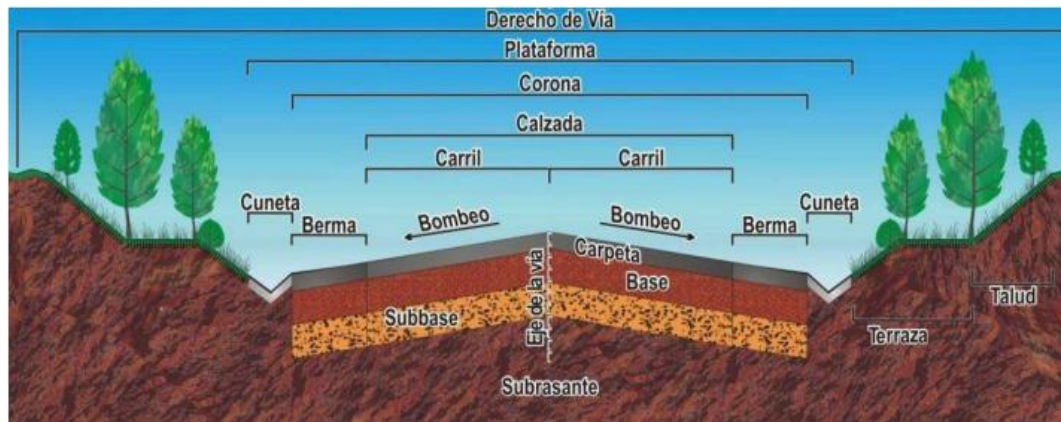


Figura 6.1. Sección típica de un pavimento (tomado de copernico.esuelaing.edu.co)

Es un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. [8]

6.1.1. Funciones de un pavimento

La estructura de un pavimento debe cumplir con las siguientes funciones [9]:

Reducir y distribuir los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito, de manera que no causen daño en la subrasante.

Proporcionar comunicación vehicular entre dos puntos en todo tiempo.

Proporcionar una superficie de rodamiento segura, lisa y confortable, sin excesivo desgaste.

Satisfacer los requerimientos ambientales y estéticos.

Limitar el ruido y la contaminación del aire.

Brindar una razonable economía

6.1.2. Características de un pavimento

Para que un pavimento cumpla adecuadamente sus funciones, debe reunir los siguientes requisitos [9]:

- Suficiente espesor para distribuir los esfuerzos en magnitud apropiada sobre la subrasante.
- Suficiente resistencia en cada una de sus capas para soportar las cargas del tránsito vehicular.
- Impermeabilidad, para evitar la penetración de agua superficial que pueda debilitar al pavimento y la subrasante.
- Adecuada lisura y resistencia al deslizamiento.

6.1.3. Clasificación de pavimentos

Básicamente existen tres tipos de pavimentos[9]:

- Pavimentos Asfálticos
 - Flexibles
 - Semi-rígidos
- Pavimentos Rígidos
 - Losas de concreto simple
 - Losas de concreto reforzado
 - Pavimento continuamente reforzado
- Pavimentos Articulado
 - Adoquines de concreto
 - Adoquines de arcilla
 - Otros

6.1.4. Factores a considerar en el diseño de pavimentos

Los pavimentos son diseñados para obtener en forma económica un buen comportamiento durante una larga vida de servicio. Diversos factores deben analizarse para obtener el diseño del más bajo costo anual. Estos factores son [9]:

- Características de los suelos de subrasante
 - Resistencia
 - Susceptibilidad a la humedad

- Tránsito
 - Configuración de los ejes
 - Número de repeticiones de carga
 - Cargas por eje
 - Área y presión de contacto
 - Velocidad
 - Distribución vehicular direccional y por carril
 - Crecimiento del tránsito
- Clima y condiciones ambientales
 - Precipitación
 - Temperatura
- Propiedades de los materiales
 - Base
 - Subbase
 - Capas de superficie
- Condición de drenaje

6.2. Pavimento Rígido

6.2.1. Definición

Un pavimento rígido es aquel que fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aún cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. [10]

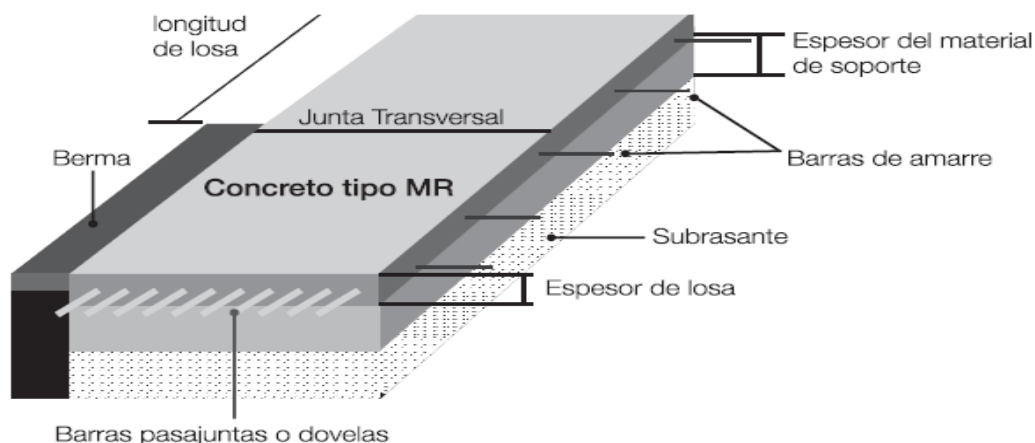


Figura 6.2. Esquema representativo de un pavimento de concreto (tomado de copernicoescuelaing.edu.co)

6.2.2. Elementos que integran un pavimento rígido

Subrasante: Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante. [11]

Base: También denominada subbase, es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la base. La base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada. Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles. [11]

Superficie de rodadura: Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento. [11]

6.2.3. Tipos de Pavimento Rígido

Losas de concreto simple: Este sistema usa placas de concreto sin refuerzo. Las juntas de contracción transversal son en general construidas a intervalos entre 3m y 6m, con el objetivo de controlar la fisuración de las losas. Dependiendo del diseño de las losas, éstas se pueden unir mediante dovelas o barras de transferencia colocadas en las juntas transversales asegurando la transferencia de carga entre estas; además se colocan barras de anclaje en las juntas longitudinales, en dirección perpendicular al eje de la vía. [12]

Losas de concreto reforzado: Debido a que el espaciamiento de las juntas transversales es mayor que el de las placas de concreto simple, con rangos típicos entre 7m y 15m, este sistema utiliza juntas de contracción y adicionalmente acero de refuerzo para controlar la fisuración de las losas. Las dovelas son usadas en las juntas transversales para asegurar la transferencia de cargas entre las losas. [12]

Pavimento continuamente reforzado: También conocido como PLV, éste sistema no requiere juntas de contracción ya que su diseño guarda similitud con una losa de entrepiso. En él las fisuras transversales se consideran normales ya que están asociadas al acero de refuerzo de la losa de concreto, la experiencia ha mostrado que la abertura normal para estas fisuras es de aproximadamente 0.5 mm, lo que no resulta crítico en relación con la posibilidad de ingreso de agua. Los intervalos típicos de espaciamiento de estas fisuras están entre 1.10 y 2.40 m. El acero de refuerzo en estos pavimentos se encuentra en la parte superior y/o inferior. Se recomienda trabajar con barras No. 5 (5/8") y No. 6 (3/4"). [12]

6.2.4. Juntas en Pavimentos Rígidos

Debido a los cambios volumétricos que por su naturaleza experimenta el concreto y a los sistemas constructivos de los pavimentos rígidos, se hace necesaria la construcción de juntas y/o uniones losas de un pavimento.

La función de las juntas consiste en mantener las tensiones que se desarrollan en la estructura de un pavimento dentro de los valores admisibles del concreto o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas juntas.

Existen varios tipos de juntas:

- De acuerdo a su ubicación respecto de la dirección principal o eje del pavimento:
 - Longitudinales
 - Transversales
- Según la función que cumplen:
 - Contracción
 - Articulación
 - Construcción
 - Expansión
 - Aislamiento
- Según la forma:
 - Rectas
 - Machihembradas
 - Acanaladas

Las juntas son muy importantes en la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. En consecuencia la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas son decisivas para la vida de servicio de un pavimento.

Por su ancho, por la función que cumplen y para lograr un rodamiento suave, deben ser rellenadas con materiales apropiados, utilizando técnicas constructivas especificadas.

Elementos de la junta

Las principales funciones que debe cumplir una junta son [8]:

- Localización adecuada, de tal manera que controle eficazmente el agrietamiento potencial.
- Transmisión adecuada de las cargas a la losa adyacente, con el fin de evitar fallas por deformaciones excesivas o pérdida en la calidad del rodamiento.
- Protección adecuada de la subrasante contra el agua. La junta debe ser impermeable, de tal manera que el agua no pueda infiltrarse a través de ella.

De acuerdo con estas funciones las juntas deben estar provistas de lo siguiente:

Un mecanismo de transmisión de carga. Los mayores esfuerzos en las losas de concreto, generados por la circulación de los vehículos, se presentan en las esquinas; pero los más frecuentes y los que generalmente controlan el diseño del espesor son los de borde. Esto obliga a dotar a las juntas, especialmente a

las transversales, de mecanismos que transmitan las cargas, de una losa a su vecina, para que se desarrollen esfuerzos con magnitud similar a los generados por las cargas colocadas en el centro de las losas. A continuación se explicarán los sistemas de mecanismos de transferencia de carga [8]:

- **Pasadores:** En condiciones de tráfico pesado y/o clima severo, es necesario complementar la eficiencia de la trabazón de agregados mediante el empleo de barras de acero liso, denominadas pasadores, que conectan entre sí las losas separadas por juntas. Este tipo de mecanismo transmite tanto fuerzas de cizalladura como momento flector, pero debe permitir el libre movimiento horizontal de las losas, por lo cual al menos una mitad del pasador debe engrasarse, a fin de evitar su adherencia con el concreto que lo rodea [8].
- **Trabazón de agregados:** cuando se produce la ruptura de la sección del pavimento debido a una reducción en el espesor de la losa (por corte a edad temprana), por una hendidura sobre el concreto fresco, o por una fisura espontánea (debido a un retraso en la ejecución de los cortes o a un incorrecto diseño de la disposición de las juntas), se presenta transmisión de cargas entre los tramos de losa o las losas vecinas, debido a la trabazón de agregados, siempre y cuando la fisura no tenga un ancho superior a un milímetro. Este mecanismo es adecuado en pavimentos que cumplan simultáneamente con los requisitos siguientes: la longitud de las losas sea menor que cinco metros y su soporte no sea susceptible de ser sometido al fenómeno de bombeo; además, el número de camiones que se espera que circulen por día sea inferior a 175 en cada carril y que las condiciones climáticas sean favorables [8].

6.2.5. Daños en Pavimentos Rígidos

Los diferentes tipos de daños que puede presentar un pavimento rígido pueden ser agrupados en cuatro categorías [12]:

- Grietas
- Deterioro de las juntas
- Deterioro superficial
- Otros deterioros

Cada uno de los daños correspondientes a cada categoría se describirá a continuación, presentando su definición, nivel de severidad, la forma de medición, sus posibles causas, su evolución probable y reparaciones que pueden realizarse, (se presentan una posible reparación, que debe ser tomada como una primera aproximación a una solución definitiva la cual será sustentada con ensayos e información detallada). Se presentarán fotografías relacionadas con cada tipo de daño a medida que se describe cada uno de ellos.

Los niveles de severidad son criterios adoptados para diferenciar la gravedad del daño, estos se basan fundamentalmente en la apreciación del grado de deterioro que pueda presentar cada daño en particular. En términos generales, los niveles de severidad adoptados en el presente manual son: severidad baja, severidad media y severidad alta; a medida que se van definiendo los diferentes tipos de daño se van definiendo también las características de cada nivel de acuerdo con cada deterioro en particular.

Cuando en un mismo tipo de daño se advierten varios niveles de severidad es preciso reportar la más alta, es decir, si para un mismo tipo de daño en un mismo lugar se presentan deterioros de severidad baja y media, se debe reportar el daño con severidad media. En ocasiones ocurre que en un mismo sitio se advierten dos o más tipos de daño, en este caso se debe reportar el daño que más incomodidad presente a los usuarios de la vía, por ejemplo, si en un mismo sitio se presentan simultáneamente grietas longitudinales, transversales y levantamiento localizado, se debe reportar el levantamiento localizado.

GRIETAS

Se denominarán fisuras a las grietas de ancho menor a 0,03 mm. Este grupo de deterioros incluye todas las discontinuidades y fracturas que afectan las losas de concreto.

6.2.5.1. Grietas de Esquina (GE).

Este tipo de deterioro genera un bloque de forma triangular en la losa; se presenta generalmente al interceptar las juntas transversal y longitudinal, describiendo un ángulo mayor que 45°, con respecto a la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo sobre la junta de la losa varía entre 0,3 m y la mitad del ancho de la losa (ver figura 1 en Anexos). Este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Niveles de Severidad. Teniendo en cuenta el ancho de la grieta, las severidades están dadas como sigue:

- Baja: Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible y el bloque de la esquina esta completo.
- Media: Aberturas entre 0,003 m y 0,01 m (3 – 10 mm).
- Alta: Aberturas mayores a 0,01 m (10 mm). Se presenta escalonamiento y el bloque de la esquina esta dividido en varias partes.

Medición del deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metros y el ancho de su abertura, reportando la cantidad de grietas de esquina en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben

ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán un nivel de severidad bajo.

Posibles causas: Las principales causas de la formación de grietas de esquina son:

- Asentamiento de la base y/o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.
- Alabeo térmico.
- Sobrecarga en las esquinas.
- Deficiente transmisión de cargas entre las losas adyacentes.

Evolución probable: Se pueden generar o incrementar los escalonamientos y producir fracturas múltiples en las losas.

6.2.5.2. Grietas longitudinales (GL)

Grietas predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia (L) mucho mayor que la mitad de la longitud de la losa (ver figura 2 en Anexos). Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la abertura de la grieta, los niveles de severidad de las grietas longitudinales se clasifican en:

- Baja: Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible.
- Media: Abertura entre 0,003 m y 0,01 m (3 – 10 mm).
- Alta: Aberturas mayores a 0,01 m (10 mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0,015 m (15 mm).

Medición del Deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metros y el ancho de su abertura, reportando la cantidad de grietas longitudinales presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán algún nivel de severidad.

Posibles causas: Las principales causas de las grietas longitudinales son:

- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.
- Alabeo térmico.
- Losa de ancho excesivo.
- Carencia de una junta longitudinal.
- Mal posicionamiento de las dovelas y/o barras de anclaje.

- Aserrado tardío de la junta.
- Contracción del concreto.

Evolución probable: Los deterioros con mayor probabilidad de ocurrencia como consecuencia de la evolución de las grietas longitudinales son:

- Incremento de los escalonamientos.
- Fracturas múltiples en las losas.

6.2.5.3. Grietas transversales (GT)

Grietas que se presentan perpendiculares al eje de circulación de la vía. Pueden extenderse desde la junta transversal hasta la junta longitudinal, siempre que la intersección con la junta transversal esté a una distancia del borde (T) mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con la junta longitudinal se encuentra a una distancia inferior que la mitad del largo de la losa (L) (ver figura 3 en Anexos). Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la abertura de la grieta, los niveles de severidad de las grietas transversales se clasifican en:

- Baja: Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible.
- Media: Abertura entre 0,003 m y 0,01 m (3 – 10 mm).
- Alta: Aberturas mayores a 0,01 m (10 mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0,006 m (6 mm).

Medición del Deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metros, reportando la cantidad de grietas transversales presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán algún nivel de severidad.

Posibles causas: Las principales causas de las grietas transversales son:

- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Losas de longitud excesiva.
- Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones.
- Gradiente térmico que origina alabeos.
- Problemas de drenaje.
- Cargas excesivas.

Evolución probable: El daño con mayor probabilidad de aparición, como consecuencia de la evolución de las grietas transversales son las grietas en bloque, también puede haber escalonamiento por la entrada de agua.

6.2.5.4. Grietas en los extremos de los pasadores (GP)

Cercanas al extremo de los pasadores o dovelas. Pueden ser ocasionadas por la mala ubicación de los pasadores o por su movimiento durante el proceso constructivo (ver figura 4 en Anexos). Este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la abertura de la grieta, los niveles de severidad de las grietas en los extremos de los pasadores se clasifican en:

- Baja: Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible.
- Media: Abertura entre 0,003 m y 0,01 m (3 – 10 mm).
- Alta: Aberturas mayores a 0,01 m (10 mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0,006 m (6 mm).

Medición del Deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metros, reportando la cantidad de grietas presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán algún nivel de severidad.

Posibles causas: Las principales causas de las grietas en los extremos de los pasadores son:

- Mala ubicación de los pasadores.
- Corrosión o desalineamiento de los pasadores.
- Movimiento durante el proceso constructivo.
- Diámetros de barras muy pequeños y cargas de tráfico muy altas.

Evolución probable: Se puede generar escalonamiento de las grietas y/o agrietamiento en bloque.

6.2.5.5. Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB)

Aparecen por la unión de grietas longitudinales y transversales formando bloques a lo largo de la placa. Este grupo también comprende las grietas en “Y” (ver figura 5 en Anexos). Aunque se presenta en todos los tipos de pavimentos rígidos, es más frecuente que se presente en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Niveles de severidad: Siempre se considera un deterioro de severidad alta.

Medición del Deterioro: Se mide el área afectada en metros cuadrados de cada placa y por severidad.

Posibles causas: La fracturación múltiple, puede ser causada por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente. Es la evolución final del proceso de fisuración, que comienza formando una malla más o menos cerrada; el tránsito y la continua flexión de las losas aceleran la subdivisión en bloques más pequeños, favoreciendo el Desportillamiento de sus bordes. Pueden presentar diversas formas y aspectos, pero con mayor frecuencia son delimitados por una junta y una fisura.

Evolución probable: La evolución más probable de las grietas en bloque es el deterioro total de la estructura y/o hundimientos.

6.2.5.6. Grietas en pozos y sumideros (GA)

Se presentan como una clasificación independiente, debido a que son grietas que están directamente relacionadas con la presencia del pozo o del sumidero (ver figura 6 en Anexos). Este tipo de deterioro se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la abertura de la grieta, los niveles de severidad de las grietas en pozos o sumideros se clasifican en:

- Baja: Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible.
- Media: Abertura entre 0,003 m y 0,01 m (3 – 10 mm).
- Alta: Aberturas mayores a 0,01 m (10 mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0,006 m (6 mm).

Medición del Deterioro: El área afectada se mide en metros cuadrados por placa.

Posibles causas: Se atribuye a la variación en la distribución de esfuerzos debida a la presencia de pozos o sumideros, éstos se convierten en una zona vulnerable a la aparición de grietas derivadas de la geometría irregular de la zona adyacente al pozo que no permite una buena distribución de esfuerzos (de acuerdo con las reglas para modulación de losas, éstas deben ser lo más regulares posible, cuando hay formas irregulares, las placas se deben reforzar).

Evolución probable: Los deterioros con mayor probabilidad de ocurrencia como consecuencia de este daño son el bombeo y el deterioro total de la losa.

DAÑOS EN JUNTAS

6.2.5.7. Separación de Juntas Longitudinales (SJ)

Corresponde a una abertura en la junta longitudinal del pavimento (ver figura 7 en Anexos). Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la abertura de la junta inducida por corte que es de 6 mm, los niveles de severidad en la separación de juntas se dan por las aberturas extras a la abertura normal de la junta y se clasifican en:

- Baja: Abertura menor a 0,003 m (3 mm). Levantamiento imperceptible, Desportillamiento mínimo.
- Media: Abertura entre 0,003 m y 0,025 m (3 – 25 mm).
- Alta: Aberturas mayores a 0,025 m (25 mm). Se presenta diferencia de nivel entre losas adyacentes o altura sobre el nivel medio de la vía mucho mayor a 0,01 m (10 mm).

Medición del Deterioro: Se tomará la longitud en metros de la junta afectada por placa.

Posibles causas: Las principales causas de una separación de juntas longitudinales son:

- Contracción o expansión diferencial de losas debido a la ausencia de barras de anclaje entre carriles adyacentes.
- Desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la subrasante.
- Ausencia de bermas.
- Asentamiento diferencial de la subrasante.

Evolución probable: El deterioro con mayor posibilidad de ocurrencia debido a la evolución de una separación de juntas longitudinales es la pérdida de perfil longitudinal; También puede haber bombeo debido a la entrada de agua en daño con severidad alta.

Posible Intervención: Cuando la sección transversal no presenta deformaciones que signifiquen pérdida de confort al manejar se debe sellar.

Si hay un nivel de severidad medio o alto, se debe reconstruir el tramo, reconfirmando y recompactando la subrasante y colocando barras de amarre en la junta longitudinal.

6.2.5.8. Deterioro del sello (DST - DSL)

Desprendimiento o rompimiento del sello de las juntas longitudinales o transversales, que permite la entrada de materiales incompresibles e infiltración de agua superficial (ver figura 8 en Anexos).

Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: extrusión del sello, endurecimiento, pérdida de adherencia entre el sello y la losa, pérdida parcial o total del sello e incrustación de materiales ajenos y crecimiento de vegetación. Este deterioro se presenta en pavimentos de placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la longitud de la junta que se encuentra con un sellado deficiente, se clasifica de la siguiente forma:

- Baja: Longitud con deficiencia de sellado menor al 5% de la longitud de la junta y no existe riesgo de entrada de agua y/o material incompresible.
- Media: Longitud con deficiencia de sellado entre 5 y el 25% de la longitud de la junta, y el resto del material sellante se encuentra en condición regular.
- Alta: Longitud con deficiencia de sellado mayor al 25% de la longitud de la junta, entrada de agua y/o material incompresible, el cambio y resellado debe ser inmediato.

Medición del Deterioro: Se tomará la longitud en metros de la junta afectada por placa, especificando el nivel de severidad del daño. Se anotará la presencia de material incompresible, vegetación o entrada de agua.

Posibles causas: Las principales causas del deterioro de los sellos de las juntas, son:

- Endurecimiento del sello: producto de mala calidad, envejecimiento.
- Pérdida de adherencia entre el sello y la placa: producto de mala calidad, sellado mal colocado, caja mal diseñada, paredes sucias en el momento de aplicar el sello.
- Pérdida de sello: producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente, movimiento relativo excesivo entre losas aledañas, poca consistencia del material de sello.
- Extrusión del material del sello: exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente, incremento severo de temperatura que provoca el movimiento de las losas y el ablandamiento del material, puesta en servicio de la vía antes del fraguado del sello.
- Incrustación del material incompresible: ocasionada por la cercanía de bermas no pavimentadas o la caída de materiales de vehículos que transitan por la vía.

- Crecimiento de la vegetación: humedad en la junta.

Evolución probable: El deterioro más probable de ocurrir debido a la evolución de la falla de sello es el desportillamiento y el bombeo.

DETERIOROS SUPERFICIALES

6.2.5.9. Desportillamiento de juntas (DPT - DPL)

Desintegración de las aristas de una junta (longitudinal, transversal), con pérdida de trozos, que puede afectar hasta 0,15 m (15 cm) a lado y lado de la junta (ver figuras 9 en Anexos). Este tipo de deterioro se presenta en todos los tipos de pavimento rígido con juntas.

Niveles de Severidad: Se definen combinando el estado de los bloques que se forman por el fracturamiento en contacto con la junta y sus dimensiones, se clasifican de la siguiente forma:

- Baja: Pequeños fracturamientos, que no se extienden más de 0,08 m (80 mm) a cada lado de la junta, dan lugar a pequeñas piezas que se mantienen bien firmes, aunque ocasionalmente algún pequeño trozo puede faltar.
- Media: Las fracturas se extienden a lo largo de la junta en más de 0,08 m (80 mm) a cada lado de la misma, dando origen a piezas o trozos relativamente sueltos, que pueden ser removidos; algunos o todos los trozos pueden faltar, pero su profundidad es menor de 0,025 m (25mm).
- Alta: Las fracturas se extienden a lo largo de la junta en más de 0,08 m (80 mm) a cada lado de la misma, las piezas o trozos han sido removidos por el tránsito y tienen una profundidad mayor de 0,025 m (25 mm).

Medición del Deterioro: Se toma la longitud en metros de la junta afectada por placa y se reporta la severidad del daño.

Posibles Causas: Las principales causas del desportillamiento de las juntas, son:

- Debilitamiento de los bordes de la junta debido a defectos constructivos.
- Desintegración del concreto, por mala calidad del material.
- Presencia de material incompresible en la junta, el cual al expandirse genera concentración de esfuerzos y la posterior falla ante el paso de vehículos.
- Mal procedimiento de corte de la junta.
- Aplicación de cargas antes de conseguir la resistencia mínima recomendada del concreto.

Evolución probable: La evolución más probable del desportillamiento de las juntas es la entrada de agua a la base generando bombeo.

6.2.5.10. Descascaramiento (DE)

Descascaramiento es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto (ver figura 10 en Anexos).

Niveles de Severidad: Se definen los niveles de severidad de acuerdo a la profundidad a la cual ha existido pérdida de material superficial y se clasifican de la siguiente forma:

- Baja: Pérdida de material superficial a una profundidad menor a 0,005 m (5 mm).
- Media: Pérdida de material superficial a una profundidad de entre 0,005 m y 0,015 m (5 – 15 mm).
- Alta: Pérdida de material superficial a una profundidad mayor a 0,015 m (15 mm).

Medición del deterioro: Se mide el área de cada descascaramiento por placa identificando la severidad de la falla.

Posibles Causas: Los descascaramientos generalmente son consecuencia de un exceso de acabado del concreto fresco colocado, produciendo la exudación del mortero y agua, dando lugar a que la superficie del concreto resulte muy débil frente a la retracción.

Las fisuras capilares pueden evolucionar en muchos casos por efecto del tránsito, dando origen al descascaramiento de la superficie, posibilitando un levantamiento de material superficial que progresa tanto en profundidad como en área. También pueden observarse manifestaciones de descascaramiento en pavimentos con refuerzo, cuando las armaduras se colocan muy próximas a la superficie.

Evolución probable: El descascaramiento puede incrementar su grado de severidad hasta generar desintegración.

6.2.5.11. Desintegración (DI)

Consiste en pérdida constante de agregado grueso en la superficie, debido a la progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de la matriz arena-cemento del concreto, provocando una superficie con pequeñas cavidades (ver figura 11 en Anexos).

Niveles de Severidad: Se definen de acuerdo al área en la cual ha existido pérdida de material superficial, se clasifican de la siguiente forma:

- Baja: Pequeños desprendimientos muy superficiales, puntuales o concentrados en pequeñas áreas, como remiendos.
- Media: Peladuras generalizadas, se extienden en la superficie dando lugar a una textura abierta, pero los desprendimientos se limitan a material fino, solo superficialmente.
- Alta: Peladuras generalizadas, se extienden en la superficie dando lugar a una superficie rugosa, con desprendimiento de agregado grueso formando cavidades o pequeños baches superficiales.

Medición del deterioro: Se mide el área por severidad del daño para cada losa.

Posibles Causas: Es causado por el efecto abrasivo del tránsito sobre concretos de calidad pobre, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso), otras posibles causas:

- Material inapropiado en el interior del hormigón tal como terrones de arcilla o cal viva.
- Mortero poco homogéneo.
- Deficiente calidad de los materiales.
- Agregados expansivos o de baja durabilidad.
- Reparaciones hechas sin seguir recomendaciones técnicas.

Evolución probable: La desintegración de la superficie del pavimento puede incrementar su grado de severidad hasta generar baches.

6.2.5.12. Baches (BCH)

Desintegración de la losa de concreto y la remoción den una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares que incluso puede dejar expuesto el material de base (ver fotografía 1 en Anexos).

Niveles de Severidad: Se definen de acuerdo a la profundidad a la cual ha existido pérdida de material, se clasifican de la siguiente forma:

- Baja: Profundidad de afectación menor a igual que 25 mm.
- Media: Profundidad de afectación entre 25 y 50 mm.
- Alta: Profundidad de afectación mayor que 50 mm.

Medición del deterioro: Se miden en metros cuadrados (m^2) de área afectada, registrando la mayor severidad existente por cada losa afectada.

Posibles Causas: Los baches se producen por conjunción de varias causas:

- Fundaciones y capas inferiores inestables.
- Espesores del pavimento estructuralmente insuficientes.
- Retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas.
- Acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras en bloque, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento.

6.2.5.13. Pulimento (PU)

Carencia o pérdida de la textura superficial necesaria para que exista una fricción adecuada entre el pavimento y los neumáticos (ver fotografía 2).

Niveles de Severidad: No se definan niveles de severidad. El grado de pulimento de la superficie debe ser alto para ser informado.

Medición del deterioro: Se debe reportar el área afectada en cada placa o el número de placas afectadas.

Posibles Causas: Esta deficiencia es causada principalmente por el tránsito, que produce el desgaste superficial de los agregados, especialmente cuando la mezcla de concreto y/o agregados es de calidad deficiente y favorece la exposición de los mismos. La reducción de la fricción o resistencia al deslizamiento, puede alcanzar niveles de riesgo para la seguridad del tránsito. El pulimento de los agregados puede ser considerado cuando un examen visual revela que la rugosidad sobre la superficie es muy reducida y se presenta una superficie suave al tacto.

Evolución probable: El pulimento de la superficie del pavimento puede generar cabezas duras.

6.2.5.14. Escalonamiento de Juntas longitudinales (EJL) y transversales (EJT)

Es una falla provocada por el tránsito que corresponde a un desnivel de la losa en su junta con respecto a una losa vecina (ver figura 12 en Anexos).

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la diferencia de altura (desnivel) entre las placas adyacentes, los niveles de severidad se definen como:

- Baja: Desnivel menor a 0,005 m (5 mm).
- Media: Desnivel entre 0,005 m y 0,01 m (5 – 10 mm).
- Alta: Desnivel mayor a 0,010 m (10 mm).

Medición del deterioro: La medición del escalonamiento entre juntas y/o grietas, se puede llevar a cabo de la siguiente forma:

- Si la losa a medir está más alta que la de referencia o contigua, registrar como escalonamiento negativo (-); en el caso contrario indique escalonamiento positivo (+).
- Definir si el desnivel se presenta en el largo o ancho de la losa y determinar su magnitud en metros, se debe tener en cuenta si el desnivel está asociado con desportillamientos o con alguna grieta definida claramente en otro tipo de daño.

Posibles Causas: Las principales causas del escalonamiento entre losas, son:

- Deficiencia en el traspaso de cargas entre las losas o trozos de losas.
- Erosión de la base en las inmediaciones de la junta o grieta.
- Asentamiento diferencial de la subbase o subrasante.
- Falta de capacidad de soporte de la subrasante.

Evolución probable: El escalonamiento de las juntas puede ocasionar fractura de la losa, si éste se combina con bombeo que implica pérdida del material de base.

6.2.5.15. Levantamiento Localizado (LET - LEL)

Sobre-elevación abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta o una grieta, habitualmente el concreto afectado se quiebra en varios trozos (ver figura 13 en Anexos).

Niveles de Severidad: La severidad se mide en función del efecto de esta falla en el nivel de serviciabilidad y muy especialmente en el riesgo que puede significar para los usuarios, partiendo de esto, los niveles de severidad se definen así:

- Baja: Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a velocidad de operación promedio. Elevación entre los bordes de la losa menor a 0,005 m (5mm).
- Media: Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir velocidad de circulación. Elevación entre bordes de la losa entre 0,005 m y 0,010 m (5 – 10 mm).
- Alta: El levantamiento causa un excesivo salto del vehículo, generando la pérdida de control del mismo, una sustancial incomodidad, y/o riesgo para la seguridad y/o daños al vehículo, siendo necesario reducir drásticamente la velocidad. Separación entre bordes de la losa mayor a 0,010 m (10 mm).

Medición del deterioro: Los daños se miden teniendo en cuenta su nivel de severidad, registrando el largo y ancho que definan el área afectada para cada losa afectada.

Posibles Causas: Son causadas por falta de libertad de movimiento de las losas de concreto. La restricción a la expansión de las losas puede originar fuerzas de compresión considerables sobre el plano de la junta. Cuando estas fuerzas no son completamente perpendiculares al plano de la junta o son excéntricas a la sección de la misma, pueden ocasionar el levantamiento de las losas contiguas a las juntas, acompañados generalmente por la rotura de estas losas. Otras causas pueden ser la mala colocación de barras de transferencia, presencia de un estrato de suelos expansivos a poca profundidad, variaciones térmicas cuando la longitud de las losas es excesiva y no cuenta con juntas de expansión o presentarse por la evolución de desportillamientos.

Evolución probable: El levantamiento localizado puede ocasionar grietas en bloque. Este daño también puede llegar a afectar la junta (producir pérdidas de sello, desprendimiento, etc.).

6.2.5.16. Parches (PCHA - PCHC)

Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, para reparar el pavimento existente, también un parcheo por reparación de servicios públicos es una intervención que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo (ver fotografía 3 en Anexos).

Los tramos con parches disminuyen el nivel de servicio de la vía, al tiempo que pueden constituir indicadores, tanto de la intensidad de mantenimiento demandado por una determinada vía, como la necesidad de reforzar la estructura de la misma. En muchos casos, los parches por deficiente ejecución dan origen a nuevas fallas. Para parches en asfalto el símbolo será PCHA y para parches en concreto PCHC.

Niveles de Severidad: Para evaluar la severidad se tendrá en cuenta su estado de deterioro, el asentamiento de la capa, a continuación se definen los niveles de severidad propios de este tipo de daño:

- Baja: El parche está en muy buena condición y se desempeña satisfactoriamente.
- Media: El parche presenta daños de severidad baja o media y deficiencias en los bordes.
- Alta: El parche está gravemente deteriorado, presentan daños de severidad alta y requiere ser reparado pronto.

Medición del deterioro: Determinar el número de parches y la superficie en metros cuadrados (m²) del área del parche para cada nivel de severidad por placa; indicar por separado los parches de asfalto y/o concreto. Se deben reportar como observaciones los daños presentes en el parche.

Posibles Causas: Algunas de las posibles causas de los daños en parches, son:

- En parches asfálticos, la capacidad estructural del parche es insuficiente o se practicó un deficiente proceso constructivo.
- En parches de concreto de pequeñas dimensiones, la retracción por fraguado puede separar el parche del concreto antiguo, si no se utiliza un epóxico como material de adhesión.
- En el caso de parches de concreto, si hubo reemplazo de por lo menos la mitad de una losa de concreto, el traspaso de carga entre el parche y la losa es insuficiente por falta de dovelas o barras de amarre y/o por defectos en el proceso constructivo.

Evolución probable: El deterioro de los parches en concreto o asfalto, puede conducir a daño total del parche y de las zonas aledañas al mismo.

Posible Intervención: Reparar en todo el espesor, una franja que comprenda toda el área afectada. Reconstruir la junta de contracción, utilizar pasadores de carga, barras de amarre, tirilla de respaldo y sello de la junta, cuando corresponda.

6.2.5.17. Hundimientos o Asentamientos (HU)

Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada; puede estar acompañado de agrietamiento significativo, debido al asentamiento de las losas (ver fotografía 4 en Anexos).

Niveles de Severidad: Se pueden diferenciar tres niveles de severidad (Bajo, Medio y Alto) según su incidencia en la comodidad de manejo, estos niveles se pueden asignar a la vía con base en la observación de automóviles circulando y se definen a continuación.

- Baja: Profundidad menor que 20 mm, causa poca vibración al vehículo, sin generar incomodidad al conductor.
- Media: Profundidad entre 20 mm y 40 mm, causa mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor.
- Alta: Profundidad mayor que 40 mm, causa vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad.

Medición del deterioro: Los hundimientos se miden registrando su área de afectación separadamente por placa y según los criterios de severidad.

Posibles Causas: Este tipo de deformación permanente del pavimento, con o sin agrietamiento puede ocurrir cuando se produce asentamiento o consolidación en la subrasante, por ejemplo, en zonas contiguas a una estructura de drenaje o de retención donde puede ocurrir el asentamiento del material de relleno por deficiente compactación inicial o bien por movimiento de la propia estructura. También pueden ser originadas por deficiencias durante el proceso de construcción de losas.

Evolución probable: El hundimiento de losas de concreto puede conducir al agrietamiento total de la losa.

OTROS TIPOS DE DETERIORO

6.2.5.18. Fisuración por retracción o Tipo malla (FR)

Fisuras limitadas solo a la superficie del pavimento. Frecuentemente, las grietas de mayores dimensiones se orientan en sentido longitudinal y se encuentran interconectadas por grietas más finas distribuidas en forma aleatoria (ver fotografía 5 en Anexos).

Niveles de Severidad: La severidad de las fisuras de aparición temprana, se evalúa teniendo en cuenta la presencia de descascaramientos en los bordes de las fisuras, los niveles de severidad definidos son:

- Baja: Fisuramiento bien definido pero sin descascaramiento.
- Media: Fisuramiento con descascaramiento que afecta menos del 10% de la superficie deteriorada.
- Alta: Fisuramiento con descascaramiento que afecta al 10% o más de la superficie deteriorada.

Medición del deterioro: Determinar el área afectada en metros cuadrados (m^2) y la severidad.

Posibles Causas: Se debe principalmente a:

- Curado inapropiado del concreto.
- Exceso de amasado superficial y/o adición de agua durante el alisado de la superficie.
- Malla de refuerzo muy cerca a la superficie.
- Acción del clima o de productos químicos.

Evolución probable: La evolución más probable de las fisuras por retracción, es el descascaramiento.

6.2.5.19. Fisuras ligeras de aparición temprana (FT)

Fisuras delgadas, que afectan únicamente la superficie de la losa, de longitud de 0,2 m a 1 m, la mayoría de las veces adquieren tendencia a ser paralelas entre sí y eventualmente con 45° de orientación con respecto al eje de la vía (ver fotografía 6 en Anexos).

Niveles de Severidad: La severidad de las fisuras ligeras de aparición temprana se evalúa teniendo en cuenta la presencia de descascaramientos en los bordes de las fisuras, los niveles de severidad se definen así:

- Baja: Sin descascaramiento.
- Media: Descascaramiento menor al 10% de la losa.
- Alta: Descascaramiento mayor al 10% de la losa.

Medición del deterioro: Determinar el área afectada.

Posibles Causas: Las fisuras ligeras de aparición temprana aparecen en la superficie del concreto generalmente por contracción plástica del concreto, que aparece antes del fraguado final, por secado prematuro.

Evolución probable: La evolución más probable de las fisuras de aparición temprana es el descascaramiento.

6.2.5.20. Fisuración por durabilidad (FD)

Corresponde a una serie de grietas finas muy cercanas entre sí, que aparecen cerca de las juntas longitudinales, transversales y cerca de los bordes libres de las losas (ver figura 14 en Anexos). Estas grietas suelen curvarse en la intersección de las juntas longitudinales y transversales, presentan una coloración oscura.

Niveles de Severidad: Los niveles de severidad para la fisuración por durabilidad, se definen en forma cualitativa con base en la separación y abertura de la fisura y en la aparición de trozos de concreto de la superficie, los niveles de severidad se definen así:

- Baja: Grietas muy cercanas sin trozos sueltos o faltantes.
- Media: Grietas bien definidas, con algunos trozos pequeños sueltos o desplazados.
- Alta: Patrón de la falla bien desarrollado, con una cantidad significativa de trozos sueltos o faltantes.

Medición del deterioro: Establecer la superficie en metros cuadrados (m²), para cada nivel de severidad presente y para cada placa.

Posibles Causas: Generalmente las fisuras por durabilidad aparecen en el concreto, debido a:

- Ambientes alcalinos.
- Reactividad álcali-sílice cuando los agregados son expuestos a cambios de temperatura.
- Humedecimiento excesivo en el borde del pavimento sumado a exceso de cargas.

Evolución probable: La evolución más probable de las fisuras por durabilidad es el descascaramiento de la superficie de las losas de concreto.

Posible Intervención: En caso de fisuras por durabilidad de severidad baja, generalmente no se interviene.

En niveles de deterioro medio y alto, se recomienda demoler una franja de losa igual al área afectada por las fisuras y reemplazar todo el espesor de la losa.

6.2.5.21. Bombeo sobre la junta transversal (BOT), bombeo sobre la junta longitudinal (BOL)

El bombeo es la expulsión de finos a través de las juntas o fisuras, ésta expulsión (en presencia de agua) se presenta por la deflexión que sufre la losa ante el paso de cargas. Al expulsar agua, ésta arrastra partículas de grava, arena, arcilla o limos generando la pérdida del soporte de las losas de concreto. El bombeo se puede evidenciar por el material que aparece tanto en juntas y fisuras de la losa como en la superficie del pavimento (ver fotografía 7 en Anexos).

Niveles de Severidad: Los niveles de severidad establecidos para el bombeo se definen con base en la diferencia de alturas entre el tramo afectado y el nivel de las losas no afectadas, los niveles de severidad se definen así:

Cuando el fenómeno se manifiesta sin generar hundimiento no puede aplicarse niveles de severidad ya que el deterioro está en edad temprana, sin embargo, en general debe reportarse como severidad baja e indicar que no hay hundimiento.

La severidad de los hundimientos es la siguiente:

- Bajo: La diferencia de alturas entre el pavimento y el nivel de referencia es menor a 0,050 m (50 mm).
- Medio: La diferencia de alturas entre el pavimento y el nivel de referencia está entre 0,050 m y 0,150 m (50 – 150 mm).
- Alto: La diferencia de alturas entre el pavimento y el nivel de referencia es mayor a 0,150 m (150 mm).

Medición del deterioro: Establecer el número de juntas y/o grietas afectadas y la longitud en metros desde el borde del pavimento en que ocurre el problema, localizándolos en el sentido transversal (distancia desde el borde externo del pavimento) y la longitud en metros en que se presenta la falla. Igualmente clasificarlos en niveles de severidad y colocar en observaciones cuando está asociado a grietas.

Posibles Causas: Las principales causas generadoras de los procesos de bombeo son:

- Presencia de agua superficial que penetra entre la base y la losa de concreto.
- Material erodable en la base.
- Tráfico de vehículos pesados frecuente.
- Transmisión inadecuada de cargas entre losas.

Evolución probable: La evolución más probable del bombeo es el escalonamiento, grietas longitudinales, transversales, de esquina y/o en bloque.

6.2.5.22. Ondulaciones (ON)

Las ondulaciones son la deformación de la superficie, generadas por un inadecuado proceso de nivelación durante la construcción.

Niveles de Severidad: Los niveles de severidad establecidos para las ondulaciones, están definidos con base en la molestia que puede generar la circulación sobre la vía, los niveles de severidad se definen así:

- Baja: Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a velocidad de operación promedio. Desnivel menor a 0,005 m (5 mm).
- Media: Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir velocidad de circulación. Desnivel entre 0,005 m y 0,010 m (5 – 10 mm).
- Alta: El desnivel causa un excesivo salto del vehículo, generando la pérdida de control del mismo, una sustancial incomodidad y/o riesgo para la seguridad y/o daños al vehículo, siendo necesario reducir drásticamente la velocidad. Desniveles mayores a 0,010 m (10mm).

Medición del deterioro: Se debe medir la longitud afectada asignando la severidad de acuerdo con el desnivel y relacionarlo separadamente losa por losa.

Posibles Causas: La causa probable de las ondulaciones es un deficiente proceso constructivo de las losas de concreto que permitió la pérdida del nivel de referencia de la vía.

Evolución probable: La evolución más probable de las ondulaciones es la aparición de grietas en la parte más baja de los hundimientos.

6.2.5.23. Descenso de la berma (DB)

Diferencia de nivel entre la superficie de la losa respecto a la superficie de la berma, ocurre cuando alguna de las bermas sufre asentamientos (ver figura 15 en Anexos).

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la diferencia de altura (ΔH) entre las superficies de la losa y la berma, se definieron los niveles de severidad para el descenso de la berma de la siguiente forma:

- Bajo: La diferencia de alturas entre la losa y la berma es menor a 0,010 m (10 mm).
- Medio: La diferencia de alturas entre la losa y la berma está entre 0,010 y 0,030 m (10 – 30 mm).
- Alto: La diferencia de alturas entre la losa y la berma es mayor a 0,030 m (30 mm).

Medición del deterioro: Se evalúa la longitud en metros de la junta afectada, definiendo si hay penetración de agua a la base.

Posibles Causas: Las principales causas del descenso de la berma son:

- Asentamiento de la berma por compactación insuficiente.
- En bermas no revestidas: por la acción del tráfico o erosión de la capa superficial por agua que escurre desde el pavimento hacia el borde externo de la losa.
- Inestabilidad de la banca.

Evolución probable: Los deterioros con mayor probabilidad de ocurrencia como consecuencia de la evolución del descenso de la berma son:

- Separación entre la berma y la losa.
- Desportillamientos en la arista próxima a la berma.

6.2.5.24. Separación entre la berma y el pavimento (SB)

Incremento en la abertura de la junta longitudinal entre la berma y el pavimento (ver figura 16 en Anexos).

Niveles de Severidad: No se clasifican por niveles de severidad, pero si hay entrada o se presume la entrada de agua entre la junta (separaciones mayores a 1 mm), es considerada de alta severidad y debe ser sellada la junta de

inmediato, para evitar el ingreso del agua hacia la base, se puede presumir entrada de agua si hay presencia de finos a lo largo de la junta.

Medición del deterioro: Se evalúa la longitud en metros de la junta afectada, definiendo si hay penetración de agua a la base.

Posibles Causas: Las causas más probables de la separación entre la berma y el pavimento, son:

- Asentamiento con desplazamiento por compactación insuficiente o falta de compactación en la cara lateral del pavimento.
- Escurrimiento de agua sobre la berma cuando existe un desnivel entre ella y el pavimento.

Evolución probable: La separación entre la berma y el pavimento, puede incrementar su nivel de severidad hasta generar daños como bombeo, escalonamiento, fisuras longitudinales y/o bloque.

Posible Intervención:

- En bermas sin pavimento ni revestimiento, reconformar la berma e implementar un sistema de drenaje que evite la entrada de agua a la base de las losas de concreto.
- En bermas revestidas con un tratamiento superficial, reconstruir el revestimiento al menos en una franja adyacente al pavimento.
- En bermas pavimentadas con carpeta asfáltica o concreto y/o estructuras de drenaje y no existe agrietamiento o pérdida de bloques, aplicar sellos a las juntas.

6.2.6. Alternativas de Rehabilitación en Pavimentos Rígidos

Dependiendo del tipo de daño que presente la estructura del pavimento, su nivel de severidad y otros factores, se tienen diferentes opciones de rehabilitación [13]:

- **Reparación en profundidad parcial:** La reparación en profundidad parcial comprende la remoción y reemplazo de una porción de la losa del tercio superior con el fin de reparar daños superficiales.

La ejecución de reparaciones en profundidad parcial se aplica en la mayoría de los casos a despostillamientos o quebraduras en juntas, fisuras o en las zonas interiores de las losas. La mayoría de las quebraduras ocurren como consecuencia de un mal mantenimiento de juntas, las que al no estar selladas permiten el ingreso de materiales incompresibles en su interior en la época de menores temperaturas [13].

Este tipo de reparación puede emplearse siempre y cuando el daño solo sea superficial. Si los despostillamientos son superiores de 150 mm, nos está indicando que el sector inferior también puede presentar daños. En estas circunstancias debería efectuarse una reparación en profundidad total. Este método de rehabilitación se puede realizar con una mezcla de concreto convencional o con mezclas de alta resistencia [13].

- **Reparación del espesor total de la losa:** Comprende la remoción y reemplazo de al menos una porción de la losa en todo su espesor, con el fin de restaurar áreas deterioradas relacionadas con problemas estructurales o con problemas de materiales constructivos como [13]:
 - Losas fragmentadas en cualquier condición.
 - Levantamiento de losas en cualquier condición.
 - Grietas de esquina en cualquier condición.
 - Grietas transversales con un nivel de severidad moderado.
 - Grietas longitudinales con un nivel de severidad alto.
 - Deterioro de juntas con un nivel de severidad moderado.

El tamaño de la reparación debe seleccionarse en función de la extensión del daño y condición de la subrasante. La longitud mínima es de 2 m en pavimentos con pasadores y de 2,5 m en pavimentos sin pasadores. Es recomendable reemplazar el ancho total; si se reemplaza un ancho parcial, la reparación debe extenderse de junta a junta. En tránsito pesado la junta debe situarse fuera de la zona de huellas. Los límites de la reparación deben ser siempre paralelos y no formar esquinas interiores. Si el límite del bache de longitud mínima dista no más de 2 m de una junta sin pasadores que no requiere reparación, se debe extender el límite hasta la junta. Si el límite del bache de longitud mínima coincide con una junta con pasadores, extender el límite 0,3 m para la remoción de los pasadores. Si la distancia entre dos límites de baches de longitud mínima es menor o igual a la Tabla, combinar ambas reparaciones.

Respecto al tema de transferencia de carga, se deberá restituir la condición de diseño. Cuando ésta reparación se realiza en pavimentos con juntas, se deben colocar varillas de transferencia de carga en las juntas de contracción con las losas vecinas. Si se trata de un pavimento con refuerzo continuo, se deberá reponer también la armadura, la cual deberá quedar unida a la de las losas adyacentes en las juntas transversales. En tránsito liviano (sin pasadores) se deberá brindar transferencia de carga por trabazón en las caras de la junta [13].

- **Reemplazo de losas:** Consiste en la remoción de losas aisladas que se hayan deteriorado por motivos estructurales, de materiales o constructivos y construcción de nuevas losas en el área afectada.

Constituye una solución más económica que la reparación de una porción de losa en espesor total, cuando la longitud de las losas es corta. Cuando esta reparación se realiza en pavimentos con juntas, se deben colocar varillas de transferencia de carga en las juntas de contracción con las losas vecinas. Si se trata de un pavimento con refuerzo continuo, se deberá reponer también la armadura, la cual deberá quedar unida, en las juntas transversales, a la de las losas adyacentes [13].

- **Subsellado:** Comprende el relleno de vacíos localizados bajo las esquinas y las juntas de las losas mediante la adición de un material en estado fluido, mediante orificios perforados a través de la losa. El propósito de éste método es limitar las deflexiones de la losa y reducir el escalonamiento.

El trabajo se debe realizar solamente en las esquinas de losas con vacíos o de lo contrario se puede destruir la uniformidad del soporte, lo que ocasiona incrementos de esfuerzo en la losa de concreto. Una variedad del subsellado es el gateo, el cual se realiza con el mismo equipo y los mismos materiales, pero con el propósito adicional de levantar las losas

El material de reparación deberá ser capaz de formar una masa dura e insoluble, la cual llenará los vacíos que se encuentren debajo del pavimento. El material de relleno más utilizado es la lechada de cemento, aunque también puede ser empleado el asfalto sólido. Las losas que queden inestables luego de un intento inicial de subsellado, volverán a ser objeto de inyección de material de reparación, en la forma indicada por el ingeniero [13].

- **Restauración de la transferencia de carga:** Es una técnica de rehabilitación que involucra la colocación de pasadores en una junta o fisura con el objetivo de incrementar la eficiencia en la transferencia de carga. La operación mejora la capacidad estructural por el mejoramiento de la transferencia de carga en las juntas y la disminución de esfuerzos que se producen en las esquinas de las losas adyacentes.

Este método de rehabilitación se aplica en casos donde la eficiencia en la transferencia de carga es inferior al 60% o cuando se presenta escalonamiento mayor de 2,5 mm y menor de 6 mm, o en casos donde hay despostillamientos menores de 7,5 cm [13].

El proceso involucra el aserrado de ranuras a través de la junta o grieta, la instalación de los pasadores y el relleno de la ranura, generalmente con el mismo material empleado en las reparaciones de espesor parcial. El sistema de transferencia de carga se debe seleccionar de acuerdo con el espesor de la losa y el tránsito por servir.

- **Resellado de juntas:** Consiste en la remoción del sello antiguo (si existe), el aserrado de una nueva caja de dimensiones apropiadas para el sellante por usar, la limpieza de la nueva caja en todo su espesor y la instalación del sellante.

Los materiales por utilizar incluyen el asfalto-caucho, la silicona y los insertos preformados de neopreno.

Cuando se realiza como parte de un trabajo de restauración del pavimento, el sello se debe efectuar como última operación [13].

- **Cepillado:** Comprende la remoción del material superficial de un pavimento rígido, mediante el uso de discos de diamante montados a distancias muy cortas en un tambor rotatorio.

Su principal aplicación es la remoción del escalonamiento en juntas y grietas o la remoción de abultamientos.

Además de mejorar el confort en la circulación, el cepillado mejora la textura superficial y la fricción [13].

- **Ranurado:** Es un trabajo realizado mediante aserrado con discos de diamante con el propósito de mejorar las características superficiales de fricción del pavimento [13].
- **Alivio de presión en las juntas:** Se realiza con un parche asfáltico o de otro material compresible instalado a intervalos de algunos centenares de metros en pavimentos donde existe el riesgo de voladuras (blow-up) debido a la generación de elevados esfuerzos de compresión en las juntas.

Las juntas de alivio de presión son apropiadas en pavimentos con juntas, elaborados con agregados reactivos o, bajo ciertas condiciones climáticas, en pavimentos con losas muy largas [13].

- **Sobrecapa asfáltica:** Su función puede ser mejorar el confort y las propiedades de fricción o incrementar la capacidad estructural del pavimento. Para retardar el reflejo prematuro de grietas y juntas, la sobrecapa se suele complementar con algunas medidas previas de protección [13]:

- *Geosintéticos*: Son materiales sintéticos tejidos o no tejidos que proporcionan restricciones que ayudan a resistir la reflexión de grietas y juntas. Son más efectivos si los movimientos en las juntas y grietas son pequeños.
- *Membranas absorbentes de esfuerzos (SAMI)*: Es una capa de tipo micro aglomerado en frío o tratamiento superficial elaborado con asfalto modificado con polímeros o con caucho sobre la cual se coloca una sobrecapa. Sus características de flexibilidad, cohesión, elasticidad y susceptibilidad térmica le permiten soportar, sin fisuración prematura, las tensiones que llegan de las juntas o de las grietas de las capas inferiores.
- *Capas de alivio del reflejo de grietas*: Capa del tipo micro aglomerado en frío o tratamiento superficial elaborado con asfalto modificado con polímeros o con caucho sobre la cual se coloca una sobrecapa. Sus características de flexibilidad, cohesión, elasticidad y susceptibilidad térmica le permiten soportar, sin fisuración prematura, las tensiones que llegan de las juntas o de las grietas de las capas inferiores.
- **Sobrecapa asfáltica sobre losas fracturadas**: La fractura mecánica de losas se realiza para [13]:
 - Intentar mitigar el reflejo de grietas en la sobrecapa
 - Prescindir de la ejecución de reparaciones localizadas de losas con elevado nivel de deterioro.

Existen dos técnicas de fracturación de losas:

- *Fragmentación y asiento (breaking & seating)*, que consiste en la rotura de las losas en piezas de 300 a 900 mm de lado y su posterior asentamiento con un rodillo pesado.
- *Microfragmentación (rubblizing)*, que consiste en la pulverización de la losa en piezas de no más de 150 mm de lado.
- **Sobrecapa de concreto adherida**: Se coloca para aumentar la capacidad estructural o para mejorar la serviciabilidad de un pavimento rígido en servicio en estado aceptable.

Se requiere una preparación cuidadosa de la superficie para asegurar la adhesión entre las dos capas de concreto [13].

- **Sobrecapa de concreto no adherida**: Su función es mejorar la capacidad estructural [13].

Es una alternativa atractiva donde la duración de una reconstrucción sea un asunto de presión pública (por ejemplo, una vía con muy alto volumen de tránsito).

El concreto asfáltico es el material preferido como capa de separación, aunque se han empleado otros con éxito variado: gravas permeables tratadas con asfalto, arenas asfalto y bases granulares)

Se requiere una preparación mínima o nula del pavimento existente.

- **Mejoramiento del subdrenaje:** Involucra actividades tales como la instalación de subdrenes longitudinales y tuberías de salida y el mejoramiento de la permeabilidad de la subbase mediante su reemplazo en las bermas por un material de mayor capacidad drenante.

El efecto benéfico del mejoramiento del subdrenaje depende de si el agua en la estructura del pavimento puede ser efectivamente removida y qué tan bien se haya diseñado, construido y mantenido el sistema.

- **Reconstrucción total:** Consiste en la demolición, remoción y reemplazo parcial o total del pavimento rígido existente, conservando la explanación y el alineamiento de la vía.

Constituye el caso más enérgico de rehabilitación y se aplica cuando el pavimento presenta muy elevados índices de deterioro.

La reconstrucción se puede acometer a través de una nueva estructura asfáltica o de un pavimento rígido nuevo.

El rango de vida de servicio suele oscilar entre 10 y 20 años para la solución asfáltica y entre 20 y 30 años para la solución en hormigón [13].

6.3. Pavimento Flexible

6.3.1. Definición

Este tipo de pavimentos está formado por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra [8].

6.3.2. Elementos que integran un pavimento flexible

Subbase granular: Es la capa de la estructura de pavimento que debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitirlos a un nivel adecuado a la subrasante. Además una subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como

filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad [8].

Esta capa también puede absorber algunos cambios volumétricos de la capa de subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones) o a cambios extremos de temperaturas, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento [8].

Una de las principales funciones de esa capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y no obstante, resultar más económica [8].

Base granular: La función principal de esta capa consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase respecto a la base [8].

Carpeta: La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento [8].

6.4. Sistemas de drenaje

Se define como sistema de drenaje de una vía al dispositivo específicamente diseñado para la recepción, canalización y evacuación de los fluidos que puedan afectar directamente a las características funcionales de cualquier elemento integrante de la carretera [14].

Dentro de esta amplia definición se distinguen diversos tipos de instalaciones destinadas a la recolección de las aguas pluviales, su canalización y evacuación a los cauces naturales, sistemas de alcantarillado o a la capa freática del terreno [14].

Las obras de drenaje pueden clasificarse en obras para el control de aguas superficiales y obras para el manejo de flujos subterráneos o subsuperficiales [14].

- Control de aguas superficiales
 - Drenaje longitudinal

- Cunetas
- Bordillos
- Drenaje transversal
 - Alcantarillas
- Obras para el control de erosión de taludes
 - Canales de conducción
 - Disipadores
- Control de aguas subterráneas
 - Filtros subsuperficiales
 - Drenes horizontales
 - Pozos verticales de drenaje
 - Galerías de drenaje

6.5. Ensayos de Laboratorio

Los agregados empleados en la construcción de carreteras deben cumplir con requisitos de granulometría y especificaciones técnicas, que garanticen un buen comportamiento durante su periodo de vida.

Para verificar un determinado banco de materiales, estos deben ser sometidos a diferentes ensayos, debiendo cumplir con las especificaciones técnicas siguientes:

Límites de Atterberg. ASTM D 4318, INV E 125–INV E-126: El objetivo de este ensayo es determinar el rango de humedad en el cual la fracción fina de un agregado puede presentar variaciones volumétricas apreciables. Estos ensayos dan como resultado un porcentaje de humedad para determinar el rango de variación entre el límite líquido y el límite plástico.

La presencia de plasticidad afecta negativamente la resistencia de los agregados. No obstante, si la cantidad de finos es muy baja, su efecto puede ser poco significativo.

Análisis granulométrico por tamizado. ASTM D 422, INV E-123: El objetivo de esta prueba es determinar la composición granulométrica del suelo. Los resultados de este ensayo se expresan indicando los porcentajes en peso del total retenido o que pasa por cada tamiz. Se elabora la curva granulométrica.

La distribución deseada de los tamaños de las partículas varía según el uso que vaya a darse al agregado que se está produciendo. La gradación deberá ser densa si se busca ante todo estabilidad, o abierta si lo que se desea es facilidad de drenaje, acomodo de otras partículas o prevención del reflejo de las grietas de las capas subyacentes.

Determinación del C.B.R. ASTM D 1883, INV E-148: Con este ensayo se mide la resistencia relativa del suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. Como resultado de esta prueba se obtiene un valor relativo de la

relación de soporte, el cual es aplicable bajo las condiciones en las cuales se realizó el ensayo.

Este ensayo mide entonces, la capacidad del material para absorber los esfuerzos verticales producidos por las cargas del tránsito.

Humedad natural. ASTM D 2216, INV E-122: Este ensayo permite determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso seco. El conocimiento de la humedad natural de un suelo no solo permite definir a priori el tratamiento a darle, durante la construcción, sino que también permite estimar su posible comportamiento, como subrasante, pues si el contenido natural de agua de un suelo está próximo al límite líquido, es casi seguro que se está tratando con un suelo muy sensitivo y si, por el contrario, el contenido de agua es cercano al límite plástico, puede anticiparse que el suelo presentara un buen comportamiento.

Esclerometría. INV E-413: Este ensayo trata de relacionar la dureza superficial del hormigón con su resistencia a compresión. En realidad, el aparato mide el rebote de una masa al chocar contra la superficie del hormigón a estudiar.

7. METODOLOGÍA

1. Se realizó un estudio geotécnico cuyo procedimiento implicó un muestreo en campo con el fin de determinar y clasificar los espesores de las capas que conforman la estructura actual de la vía, al igual que el suelo de subrasante, se realizó una clasificación y evaluación de los suelos recuperados mediante ensayos normalizados como análisis granulométrico por el método de tamizado, INV E-123; límite líquido, INV E-125; límite plástico, INV E-126; relación de soporte de California (CBR), INV E-148, etc.
2. Se realizó el levantamiento de las fallas o deterioros existentes en los 5 kilómetros de la vía en estudio, adoptando como guía el *“Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Rígidos”* del Instituto Nacional de Vías.
3. Se realizó la investigación del pavimento que comprendió la recopilación de información disponible y realización de aforos para conocer el volumen de tránsito que soporta la vía.
4. Se determinaron las condiciones de drenaje de la vía, observando el estado de cunetas, alcantarillas u otros sistemas.
5. De acuerdo con la información obtenida del levantamiento de fallas, de la investigación del pavimento y los resultados de los ensayos se escogieron las alternativas de rehabilitación más adecuadas para el pavimento existente y con base en esto se realizaron los diseños presentados.

8. ESTUDIOS PRELIMINARES

8.1. Estudios de tránsito vehicular

El tránsito es probablemente la variable más importante en un diseño o solución vial, pues una vez proyectado, dicha vía debe tener la capacidad estructural suficiente para absorber las cargas impuestas por el tránsito vehicular presente y futuro.

El estudio del tránsito debe comprender el tránsito actual (volúmenes y tipos de vehículos) y la determinación del tránsito futuro. Los volúmenes de tránsito indican la cantidad de vehículos circulantes en diversos periodos de tiempo, la clasificación indica cómo se reparte este tránsito en cada una de las categorías establecidas a través de los porcentajes de vehículos para cada una. Así se podrá establecer el volumen de vehículos pesados que usará la vía a reconstruir. Al establecerse la tasa de crecimiento estimada para cada una de las categorías obtendremos el volumen de vehículos pesados esperable, es decir conoceremos la solicitud de la obra.

Éste estudio resulta relativamente fácil cuando se trata de mejoramientos de carreteras existentes como son: rectificación del trazado, ampliación, pavimentación, etc.

8.1.1. Aforos de tránsito

Se denomina aforo de tránsito al método de conteo de vehículos por medio del cual se determinan los volúmenes de tránsito real del flujo vehicular analizado.

Las modalidades más comúnmente usadas para aforos de tránsito son:

- *Aforos manuales:* Son aquellos que registran a vehículos haciendo trazos en un papel o con contadores manuales. Mediante éstos es posible conseguir datos que no pueden ser obtenidos por otros procedimientos, como clasificar a los vehículos por tipo, número de ellos que giran u ocupantes de los mismos. Los recuentos pueden dividirse en 30 minutos e incluso 15 cuando el tránsito es muy denso. Para hacer los recuentos se deben preparar hojas de campo.
- *Contadores mecánicos:* Son aquellos que emplean instrumentos para realizar el registro de vehículos, sin que se requiera de personal permanente. Estos instrumentos se basan en principios como el de la célula fotoeléctrica, presiones en planchas especiales o por medio de detectores magnéticos o hidráulicos.

Atendiendo a su movilidad los contadores pueden ser fijos o portátiles. Los fijos se usan para hacer recuentos continuos en ciertos lugares, mientras

que los portátiles son más ligeros y se utilizan para hacer recuentos parciales durante periodos de tiempo limitados.

Contadores permanentes son usados para aforar el tránsito continuamente. Es usado a menudo para estudios de tendencias. Pueden ser actuados por células fotoeléctricas, detectores magnéticos y detectores de lazo.

- *Contadores portátiles:* Toman nota de los volúmenes aforados cada hora y 15 minutos, dependiendo del modelo. Pueden ser tubos neumáticos u otro tipo de detector portátil. Entre sus ventajas se cuentan: una sola persona puede mantener varios contadores y, además, proveen aforos permanentes de todas las variaciones del tránsito durante el periodo del aforo. Entre sus desventajas se cuentan: no permiten clasificar los volúmenes por tipo de vehículo y movimientos de giro y muchas veces se necesitan aforos manuales ya que muchos contadores (en particular los de tubo neumático) cuentan más de un vehículo cuando son accionados por vehículos de más de un eje o por vehículos que viajen a velocidades bajas.
- *Método del vehículo en movimiento:* Este método se emplea para obtener volúmenes de tránsito en un tramo de la vía urbana, sirviendo además para determinar tiempos y velocidades de recorrido medias. Para aplicar este método se emplea un vehículo con su conductor, que recorre el tramo de vía considerado a la velocidad media de la corriente de tránsito, acompañado de uno o más observadores que deben registrar el tiempo que tarda el tramo de la vía considerado, los vehículos que se cruzan con él y están en sentido contrario, los vehículos pasados y los que se adelantan a él, en el mismo sentido.

Para este proyecto se obtuvieron los datos de volumen de tránsito mediante aforos manuales, que se realizaron durante los días domingo, 26 de junio; miércoles, 29 de junio y viernes, 1 de julio. Estos conteos se realizaron durante periodos de 12 horas (6:00 am a 6:00 pm) y el lugar escogido para llevarlos a cabo fue el K4+000, en el cruce que conduce a Villa Paz (ver resultados en tablas 1 a 6 en Anexos).

Clasificación vehicular

Para realizar la clasificación vehicular se tuvo en cuenta la resolución 4100 de 2004, expedida por el Ministerio de Transporte, que dictamina la siguiente clasificación (ver figura 17 en Anexos):

Tipo A: Automóviles, camperos, camionetas y microbuses

Tipo B: Buses y busetas

Tipo C: Vehículos de carga: C2-p, C2-g, C3, C2-S1, C4, C3-S1, C2-S2, C3-S2, C3-S3.

Los resúmenes de los volúmenes de tránsito obtenidos durante los conteos, identificándolos de acuerdo al tipo de vehículo son los siguientes:

Tabla 8.1. Volumen de tránsito en el sector K0+000 a K4+000

K0+000 - K4+000				
Vehículo	Designación	Fechas de aforos		
		Domingo	Miércoles	Viernes
Vehículos livianos	A	613	415	447
Busetas	B	15	17	26
Buses		77	72	68
Camiones	C2-p	15	60	52
	C2-g	10	26	22
	C3	6	28	26
	C3-S2	0	4	3
TOTAL		736	622	644

Tabla 8.2. Volumen de tránsito en el sector K4+000 a K5+000

K4+000-K5+000				
Vehículo	Designación	Fechas de aforos		
		Domingo	Miércoles	Viernes
Vehículos livianos	A	504	373	390
Busetas	B	10	13	20
Buses		71	64	53
Camiones	C2-p	11	58	47
	C2-g	10	25	21
	C3	6	28	26
	C3-S2	0	4	3
TOTAL		612	565	560

8.1.2. Cálculo del Tránsito Promedio Diario (TPD)

El Tránsito Promedio Diario (TPD), se define como el número de vehículos que pasa por una sección dada de la vía durante un período determinado, dividido por el número de días que conforman el período. Puede ser tránsito promedio diario semanal, mensual e inclusive anual, en ese caso a la sigla TPD se le incluye el subíndice “s”, “m” o “a” según sea el caso. El más usual es el TPDs, en cuyo caso se refiere a que el conteo se hizo durante una semana. La información del TPD se refina estableciendo el porcentaje de vehículos clase A, B o C.

Para este proyecto se calculó un TPD semanal, que es el resultado de la sumatoria de los volúmenes diarios durante la semana, dividido por los siete días de la misma. Sin embargo, debido a que los aforos realizados fueron de doce horas (6 am – 6 pm) y no se contaba con información acerca del volumen de tránsito durante las otras doce horas (6 pm – 6 am), se decidió completar la información del TPDs mediante la relación del tránsito el vehículos en el día vs el tránsito de vehículos en la noche, del estudio realizado en el tramo Jamundí – Río Claro (Información suministrada por la Gobernación del Valle del Cauca).

A continuación se presentan los valores de los volúmenes de tránsito con la adición del porcentaje correspondiente al tráfico de 6 pm a 6 am:

Tabla 8.3. Volumen de tránsito en el sector K0+000 a K4+000 (incluyendo tránsito 6 pm a 6 am)

K0+000 - K4+000				
Vehículo	Designación	Fechas de aforos		
		Domingo	Miércoles	Viernes
Vehículos livianos	A	845	572	616
Busetas	B	20	22	34
Buses		100	94	89
Camiones	C2-p	18	72	62
	C2-g	12	32	27
	C3	7	34	32
	C3-S2	0	4	3
TOTAL		1002	830	862

Tabla 8.4. Volumen de tránsito en el sector K4+000 a K5+000 (incluyendo tránsito 6 pm a 6 am)

K4+000 - K5+000				
Vehículo	Designación	Fechas de aforos		
		Domingo	Miércoles	Viernes
Vehículos livianos	A	695	514	538
Busetas	B	13	17	26
Buses		93	84	69
Camiones	C2-p	13	69	56
	C2-g	12	31	26
	C3	7	34	32
	C3-S2	0	4	3
TOTAL		833	753	749

Con estos valores se procede a hallar el tránsito promedio diario semanal para cada sector:

$$TPD_{S\ K1-K4} = \frac{\left(\left(830 + 862/2\right) * 6\right) + 1002}{7} = 868 \text{ vehículos/día}$$

$$TPD_{S\ K4-K5} = \frac{\left(\left(753 + 749/2\right) * 6\right) + 833}{7} = 763 \text{ vehículos/día}$$

A continuación se presentan los valores de TPD_S para cada tipo de vehículo.

Tabla 8.5. Valores de TPDS para cada tipo de vehículo. Sector K0+000 a K4+000

K0+000 - K4+000				
Vehículo	Designación	TPDs	Distribución Vehículos (%)	Distribución Camiones (%)
Vehículos livianos	A	630	73	
Busetas	B	27	3	
Buses		93	11	
Camiones	C2-p	60	7	50
	C2-g	27	3	23
	C3	29	3	24
	C3-S2	3	0.3	3
TOTAL		868	100	100

Tabla 8.6. Valores de TPDS para cada tipo de vehículo. Sector K4+000 a K5+000

K4+000 - K5+000				
Vehículo	Designación	TPDs	Distribución Vehículos (%)	Distribución Camiones (%)
Vehículos livianos	A	550	72	
Busetas	B	20	3	
Buses		79	10	
Camiones	C2-p	56	7	49
	C2-g	26	3	23
	C3	29	4	26
	C3-S2	3	0.4	3
TOTAL		763	100	100

8.1.3. Determinación del factor camión

El factor camión se define como el número de aplicaciones de ejes sencillos con carga equivalente de 8.2 toneladas, correspondientes al paso de un vehículo comercial (bus o camión) [8].

En Colombia son utilizadas tres metodologías para la obtención del factor camión: por conteo y pesaje de los vehículos comerciales, por el método Mopt-Ingeroute y por el propuesto por la Universidad del Cauca [8].

En este proyecto se determinó el factor camión mediante los métodos Mopt-Ingeroute y Universidad del Cauca, ya que no se encontró información acerca del pesaje de vehículos comerciales para el sector de la vía en estudio. Con estos métodos se estima el factor camión a partir de factores de equivalencia promedio, estos factores se presentan a continuación [8]:

Tabla 8.7. Factores de equivalencia

Tipo de vehículo	Factores de equivalencia	
	Mopt-Ingeroute	Universidad del Cauca (1996)
C-2 pequeño		1.14
	1.4 (prom.)	
C-2 grande		3.44
C-3	2.4	3.76
C2-S1		3.37
C4	3.67	6.73
C3-S1		2.22
C2-S2		3.42
C3-S2	4.67	4.40
C3-S3	5.0	4.72
Bus P-600		0.40
	0.2 (prom.)	
Bus P-900		1.0
Bueta		0.05

Teniendo en cuenta la distribución de vehículos y camiones presentada en las tablas 8.5 y 8.6 y con los factores de equivalencia mostrados en la tabla anterior, se procede a determinar el factor camión [8].

Método Mopt - Ingeroute

$$FC(camiones)_{K0-K4} = \frac{50 \times 1.4 + 23 \times 1.4 + 24 \times 2.4 + 3 \times 4.67}{50 + 23 + 24 + 3} = 1.73$$

$$FC_{K0-K4} = \frac{11 \times 0.2 + 14 \times 1.73}{11 + 14} = \mathbf{1.06}$$

$$FC(\text{camiones})_{K4-K5} = \frac{49 \times 1.4 + 23 \times 1.4 + 26 \times 2.4 + 3 \times 4.67}{49 + 23 + 26 + 3} = 1.74$$

$$FC_{K4-K5} = \frac{10 \times 0.2 + 15 \times 1.74}{10 + 15} = \mathbf{1.11}$$

Método Universidad del Cauca

$$FC(\text{camiones})_{K0-K4} = \frac{50 \times 1.14 + 23 \times 3.44 + 24 \times 3.76 + 3 \times 4.4}{50 + 23 + 24 + 3} = 2.39$$

$$FC_{K0-K4} = \frac{3 \times 0.05 + 11 \times 0.4 + 14 \times 2.39}{3 + 11 + 14} = \mathbf{1.35}$$

$$FC(\text{camiones})_{K4-K5} = \frac{49 \times 1.14 + 23 \times 3.44 + 26 \times 3.76 + 3 \times 4.4}{49 + 23 + 26 + 3} = 2.42$$

$$FC_{K4-K5} = \frac{3 \times 0.05 + 10 \times 0.4 + 15 \times 2.42}{10 + 14} = \mathbf{1.45}$$

8.2. Inspección visual

La inspección visual es uno de los instrumentos más poderosos en la rehabilitación de pavimentos y forma parte esencial de toda la investigación, pues con los datos que se obtienen de ella, se tiene una herramienta importante a la hora de fijar la estrategia de rehabilitación.

En este proyecto se tomó como guía el *“Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos”* del INVIAS.

8.2.1. Características del pavimento

El pavimento estudiado en este proyecto está compuesto por losas que tienen un ancho de 3.0 m y longitudes entre 4.2 y 5.0 m, aunque algunas de ellas presentan una longitud de 1.3 m.

Con el fin de determinar si las losas tienen barras de transferencia, se usó el equipo de detección magnética PS 200 Ferroskan de Hilti, el cual mediante

campo magnético permite visualizar las barras de acero presentes (ver fotografía 8 en Anexos).

Describiendo las imágenes obtenidas en este estudio, se tienen los siguientes resultados:

Junta Transversal: Presencia de Refuerzos #3 con separación aproximada de 138.7mm y una profundidad promedio de 76.8mm.

Junta longitudinal: Presencia de Refuerzos #3 con separación aproximada de 183.2mm y una profundidad promedio de 65.0mm.

Sin embargo, estos resultados no son concluyentes, pues la ambigüedad de las imágenes obtenidas no definía claramente la longitud y continuidad de las barras. (ver resultados en Anexos)

De acuerdo con lo anterior, no se puede determinar con certeza a que tipo pertenecen las losas que componen este tramo, sin embargo debido a la edad de la estructura y a la longitud de las placas, se presume que son losas de concreto simple.

8.2.2. Estructura del pavimento

Después de realizar una visita técnica a la zona y realizar varios apiques en diferentes puntos de la vía, se puede concluir que la estructura del pavimento de la carretera está conformada por losas de concreto hidráulico, apoyadas sobre una capa de relleno granular y éste a su vez asentado sobre la subrasante (ver detalles en estudio de suelos).



Figura 8.1. Estructura del pavimento existente

8.2.3. Evaluación de daños superficiales

La evaluación de los daños presentes en las losas se realizó siguiendo las recomendaciones dadas en el “*Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos*” del INVIAS. Dadas las condiciones de daños que presenta la vía, y ante la imposibilidad de realizar, por las condiciones de alta severidad, un levantamiento detallado por losa, se recurre a dividir en tramos de 1 km. y sectores dependiendo del tipo de deterioro y de manera general se hace una descripción que representa las fallas que posee cada uno de ellos.

A continuación se describen los tipos de daños encontrados en cada sector.

➤ **Tramo A: K0+000 a K1+000**

→ **Sector K0+000 a K0+286:** Corresponde a una sección de 286 m de longitud, compuesta por dos carriles de 3 m de ancho y con 58 losas en cada uno de ellos; en esta sección predominan losas con geometría rectangular de dimensiones 3x5 m y solo una de ellas por cada carril tiene dimensiones 3x1.3 m.

Daños encontrados: El sector en mención presenta a lo largo de su longitud los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Los bloques generados por la fracturación de las losas en este sector, afectan en la mayoría de los casos el área total de las placas (Fotografía 8.1). Las grietas en bloque siempre son consideradas como un deterioro de severidad alta.



Fotografía 8.1. Grietas en bloque sector K0+000 a K0+286 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ **Grietas de Esquina (GE):** Estas grietas tienen longitudes que superan los 0.5 m y aberturas con sección transversal mayores a 10 mm, por lo que se pueden clasificar como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.2).



Fotografía 8.2. Grietas de esquina sector K0+000 a K0+286 (Ref. 6.2.5.1)

- ❖ **Grietas Longitudinales (GL):** La longitud mínima de estas grietas es de 2 m, sin embargo la mayoría presentan una longitud igual a la de la losa. Estas grietas tienen aberturas de sección transversal mayor a 10 mm, por lo que se pueden considerar como deterioros de severidad alta. (Fotografía 8.3).



Fotografía 8.3. Grietas longitudinales sector K0+000 a K0+286 (Ref. 6.2.5.2)

En este sector hay 34 losas que se encuentran en estado de deterioro muy alto.

→ **Sector K0+286 a K0+500:** Es un sector con 214 m de longitud, formado por dos carriles de 3 m ancho y con 45 losas en cada uno de ellos; la mayoría de placas que componen este sector tienen una geometría rectangular de dimensiones 3x5 m, sin embargo se encontraron algunas con menores dimensiones (3x1.3 m).

Daños encontrados: El sector en mención presenta a lo largo de su longitud los siguientes tipos de deterioro:

❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Este tipo de deterioro afecta en la mayoría de los casos la totalidad del área de las losas, (Fotografía 8.4). Este tipo de daño se considera como un deterioro de severidad alta.



Fotografía 8.4. Grietas en bloque sector K0+286 a K0+500 (Ref. 6.2.5.5)

❖ **Grietas de Esquina (GE):** Estas grietas tienen longitudes que superan 0.3 m, con aberturas de sección transversal superiores a los 10 mm, por lo que se puede clasificar como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.5).



Fotografía 8.5. Grietas de esquina sector K0+286 a K0+500 (Ref. 6.2.5.1)

- ❖ **Grietas Longitudinales (GL):** Estas grietas presentan longitudes que comprenden la longitud total de la losa y tienen aberturas de sección transversal en su gran mayoría superiores a 10 mm, por lo que se pueden clasificar como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.6).



Fotografía 8.6. Grietas longitudinales sector K0+286 a K0+500 (Ref. 6.2.5.2)

En este sector todas las losas presentan un alto grado de deterioro.

- **Sector K0+500 a K0+650:** Cuenta con 150 m de longitud y está formado por dos carriles de 3 m de ancho, cada uno de ellos compuesto por 30 losas con geometría rectangular y dimensiones de 3x5 m.

Daños encontrados: Se presentan los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ ***Grietas Transversales (GT):*** La gran mayoría de estas grietas tienen una longitud igual al ancho de la losa, con aberturas de sección transversal que superan los 10 mm, por lo que se pueden clasificar como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.7).



Fotografía 8.7. Grietas transversales sector K0+500 a K0+650 (Ref. 6.2.5.3)

- ❖ ***Grietas de Esquina (GE):*** Las grietas de este tipo encontradas en este sector de la vía, tienen longitudes que superan los 0.6 m, con aberturas de sección transversal de hasta 5 mm, por sus características se consideran como un deterioro con nivel de severidad medio (Fotografía 8.8).



Fotografía 8.8. Grietas de esquina sector K0+500 a K0+650 (Ref. 6.2.5.1)

- ❖ **Grietas Longitudinales (GL):** Estas grietas tienen una longitud igual a la de la losa, con aberturas de sección transversal superiores a los 10 mm, por lo que se pueden considerar como un deterioro con nivel de severidad alto (Fotografía 8.9).



Fotografía 8.9. Grietas longitudinales sector K0+500 a K0+650 (Ref. 6.2.5.2)

En este sector se observaron 28 losas que no presentaban deterioros.

- **Sector K0+650 a K0+723:** Corresponde a una sección de la vía de 73 m de longitud, compuesta por dos carriles de 3 m de ancho, con 16 losas en cada uno de ellos. La mayoría de placas de este sector tienen geometría rectangular y dimensiones 3x5 m, sin embargo se encontraron algunas losas con dimensiones menores.

Daños encontrados: El sector en mención presenta a lo largo de su longitud los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Este tipo de deterioro afecta en algunos casos el 50% del área de las losas, sin embargo en la gran mayoría de casos el deterioro comprende el área total de éstas. Este tipo de daño siempre se considera como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.10).



Fotografía 8.10. Grietas en bloque sector K0+650 a K0+723 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ ***Grietas Transversales (GT):*** Estas grietas presentan una longitud igual al ancho de las losas, con aberturas de sección transversal superiores a los 10 mm. Por sus características, estas grietas son consideradas como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.11).



Fotografía 8.11. Grietas transversales sector K0+650 a K0+723 (Ref. 6.2.5.3)

- ❖ ***Grietas de Esquina (GE):*** Las grietas de este tipo encontradas en esta sección de la vía, tienen longitudes que superan los 0.3 m, con aberturas de sección transversal que sobrepasan los 10 mm, por sus características se consideran como un deterioro con nivel de severidad alto (Fotografía 8.12)



Fotografía 8.12. Grietas de esquina sector K0+650 a K0+723 (Ref. 6.2.5.1)

- ❖ **Grietas Longitudinales (GL):** Presentan longitudes iguales a la longitud de las losas, con grietas de secciones transversales superiores a los 10 mm. De acuerdo a las características de estas grietas, se pueden clasificar como deterioros de severidad alta (Fotografía 8.13).



Fotografía 8.13. Grietas longitudinales sector K0+650 a K0+723 (Ref. 6.2.5.2)

En este sector se encontraron 10 losas en buen estado, todas ellas ubicadas en el carril derecho.

→ **Sector K0+723 a K0+921:** Corresponde a una sección de la vía con 198 m de longitud, conformada por dos carriles de 3 m de ancho, cada uno de

ellos compuesto por 41 losas. Las placas en este sector presentan una geometría rectangular con dimensiones 3x5 m, sin embargo se pudieron observar algunas losas con menores dimensiones (3x1.5 m).

Daños encontrados: A lo largo del sector en mención se pudieron observar los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ ***Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):*** Este deterioro afecta en promedio un área de 7 m² en las losas. Las grietas en bloque siempre se consideran como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.14).



Fotografía 8.14. Grietas en bloque sector K0+723 a K0+921 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ ***Grietas de Esquina (GE):*** Las grietas de esquina en este sector presentan longitudes que superan los 0.3 m, con grietas de sección transversal mayores a 10 mm. De acuerdo a las características de las grietas, éstas se pueden clasificar como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.15).



Fotografía 8.15. Grietas de esquina sector K0+723 a K0+921 (Ref. 6.2.5.1)

- ❖ **Grietas longitudinales (GL):** Estas grietas presentan longitudes iguales a la de de las losas, con grietas de sección transversal de hasta 7 mm, por las características de las grietas, éstas se pueden clasificar como un deterioro de severidad media (Fotografía 8.16).



Fotografía 8.16. Grietas longitudinales sector K0+723 a K0+921 (Ref. 6.2.5.2)

En este sector hay 56 losas que no presentan deterioros considerables.

- **Sector K0+921 a K1+000:** Es un tramo de 79 m de longitud, compuesto por dos carriles de 3 m de ancho, cada uno de ellos conformado por 18 losas. Las placas de este sector presentan una geometría rectangular de

dimensiones 3x5 m, sin embargo se encontraron algunas con dimensiones 3x1.5 m.

Daños encontrados: El sector en mención presenta a lo largo de su longitud los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ ***Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):*** Este deterioro afecta en la mayor parte de los casos la totalidad del área de las losas. Este tipo de deterioro se considera siempre como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.17).



Fotografía 8.17. Grietas en bloque sector K0+921 a K1+000 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ ***Grietas de Esquina (GE):*** Estas grietas tienen longitudes que superan los 0.4 m, con aberturas superiores a los 10 mm. Por las características de las grietas, éstas se consideran como un deterioro con un nivel de severidad alto (Fotografía 8.18).



Fotografía 8.18. Grietas de esquina sector K0+921 a K1+000 (Ref. 6.2.5.1)

- ❖ ***Grietas Longitudinales (GL):*** La gran mayoría de estas grietas presentan longitudes iguales a la longitud de las losas, con aberturas que superan en su gran mayoría los 10 mm de ancho. Por las características que presentan éstas grietas se pueden clasificar como un deterioro con nivel de severidad alto (Fotografía 8.19).



Fotografía 8.19. Grietas longitudinales sector K0+921 a K1+000 (Ref. 6.2.5.2)

Todas las losas de este presentan un alto nivel de deterioro.

En este tramo hay en total de 208 losas, de las cuales 90 losas presentan altos niveles de deterioro.

➤ **Tramo B: K1+000 a K2+000**

→ **Sector K1+000 a K1+150:** Corresponde a un tramo de 150 m de longitud con dos carriles de 3 m de ancho, cada uno compuesto por 36 losas. La mayor parte de las placas en este sector tienen una geometría rectangular con dimensiones 3x4.2 m, sin embargo se observaron algunas con dimensiones 3x5 m² y otras con 3x1.5 m.

Daños encontrados: A lo largo de este sector se encontraron los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Este tipo de deterioro afecta en la mayor parte de los casos el área total de las losas. El nivel de severidad de este tipo de deterioro siempre se considera alto (Fotografía 8.20).



Fotografía 8.20. Grietas en bloque sector K1+000 a K1+150 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ **Grietas Longitudinales (GL):** Estas grietas presentan longitudes iguales a la de la losa, con aberturas que superan los 10 mm, por lo que se pueden considerar como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.21).



Fotografía 8.21. Grietas longitudinales sector K1+000 a K1+150 (Ref. 6.2.5.2)

En este sector todas las losas se encuentran con un nivel de deterioro alto.

→ **Sector K1+150 a K1+300:** Corresponde a un tramo de 150 m de longitud con dos carriles de 3 m de ancho, cada uno compuesto por 30 losas. La mayor parte de las placas en este sector tiene una geometría rectangular con dimensiones 3x5 m, aunque se encontraron algunas losas con dimensiones de 3x1.3.

Daños encontrados: A lo largo de este sector se encontraron los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ **Grietas Transversales (GT):** Este tipo de grietas cubren el ancho total de la losa, con una abertura promedio de las grietas de 5 mm, por lo que se puede considerar que estas grietas tienen un nivel de severidad medio (Fotografía 8.22).



Fotografía 8.22. Grietas transversales sector K1+150 a K1+300 (Ref. 6.2.5.3)

- ❖ **Grietas de Esquina (GE):** Estas grietas tienen longitudes que superan los 0.25 m, con un ancho de aberturas que en gran mayoría de los casos superan los 10 mm, por lo que se puede decir que estas grietas tienen un nivel de severidad alto (Fotografía 8.23).



Fotografía 8.23. Grietas de esquina K1+150 a K1+300 (Ref. 6.2.5.1)

- ❖ **Grietas Longitudinales (GL):** Estas grietas tienen longitudes iguales a la longitud de las losas, con aberturas en su gran mayoría mayores a 10 mm de ancho, por lo que se puede decir que estas grietas tienen un nivel de severidad alto (Fotografía 8.24).



Fotografía 8.24. Grietas longitudinales K1+150 a K1+300 (Ref. 6.2.5.2)

En este sector no hay losas con niveles de deterioro bajos

→ **Sector K1+300 a K1+620:** Corresponde a un tramo de 320 m de longitud con dos carriles de 3 m de ancho, cada uno compuesto por 64 losas. La mayor parte de las placas en este sector tienen una geometría rectangular con dimensiones 3x5 m².

Daños encontrados: El sector en mención presenta a lo largo de su longitud los siguientes tipos de deterioro:

❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Los bloques generados por la fracturación de las losas afectan el área total de éstas. Este tipo de deterioro se considera siempre como un daño de severidad alta (Fotografía 8.25).



Fotografía 8.25. Grietas en bloque sector K1+300 a K1+620 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ **Grietas Transversales (GT):** Estas grietas presentan longitudes que cubren la totalidad del ancho de las losas. El ancho de las aberturas de estas grietas superan los 10 mm, por lo que se puede decir que estas grietas tienen un nivel de severidad alto (Fotografía 8.26).



Fotografía 8.26. Grietas transversales sector K1+300 a K1+620 (Ref. 6.2.5.3)

En este sector todas las losas presentan un grado de deterioro alto.

→ **Sector K1+620 a K1+775:** Corresponde a una sección de 155 m de longitud con dos carriles de 3 m de ancho, cada uno compuesto por 31 losas. La mayor parte de las placas en este sector tienen una geometría rectangular con dimensiones 3x5 m.

Daños encontrados: A lo largo de este sector se encontraron los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Este deterioro afecta en promedio un área de 6 m² de las losas. Las grietas en bloque siempre son consideradas como un deterioro con nivel de severidad alto (Fotografía 8.27).



Fotografía 8.27. Grietas en bloque sector K1+620 a K1+775 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ **Grietas Longitudinales (GL):** Estas grietas tienen longitudes que cubren la longitud total de las losas, con aberturas que superan los 10 mm de ancho, por lo que se pueden considerar como deterioros con un nivel de severidad alto (Fotografía 8.28).



Fotografía 8.28. Grietas longitudinales sector K1+620 a K1+775 (Ref. 6.2.5.2)

En este sector todas las losas presentan daños con niveles de deterioro altos

→ **Sector K1+775 a K2+000:** Corresponde a una sección de 225 m de longitud con dos carriles de 3 m de ancho, cada uno compuesto por 51 losas. La mayor parte de las placas en este sector tienen una geometría rectangular con dimensiones 3x4.2 m, sin embargo algunas presentan dimensiones de 3x5 m.

Daños encontrados: En este sector solo se presentan grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB), éstas afectan el área total de las losas y tienen un nivel de severidad alto (Fotografía 8.29).



Fotografía 8.29. Grietas en bloque sector K1+775 a K2+000 (Ref. 6.2.5.5)

Todas las losas de este sector están deterioradas en un alto grado.

En este tramo hay un total de 212 losas, todas ellas con niveles de deterioro altos.

➤ **Tramo C: K2+000 a K3+000**

→ **Sector K2+000 a K2+245:** Corresponde a un sector con 245 m de longitud, compuesto por dos carriles de 3 m de ancho y con 57 losas en cada carril, en este sector la mayoría de las losas tiene geometría rectangular y dimensiones 3x4.3 m.

Daños encontrados: A lo largo de este sector se encontraron los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Los bloques generados por la fracturación de las losas en este tramo afectan prácticamente la totalidad del área de éstas. Este tipo de deterioro siempre es considerado como un daño con nivel de severidad alto (Fotografía 8.30).



Fotografía 8.30. Grietas en bloque sector K2+000 a K2+245 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ ***Escalonamiento de juntas longitudinales (EJL):*** Se presenta un escalonamiento de 3.0 cm, lo que significa que este deterioro tiene un nivel de severidad alto, los desniveles se presentan en promedio en longitudes de 1.7 m (Fotografía 8.31).



Fotografía 8.31. Escalonamiento de juntas longitudinales sector K2+000 a K2+245 (Ref. 6.2.5.14)

En este sector todas las losas presentan niveles de deterioro altos.

→ **Sector K2+245 a K2+282:** Corresponde a un sector con 37 m de longitud, en él no se puede evidenciar la carpeta, solo se observa material de río (Fotografía 8.32).



Fotografía 8.32. Sector K2+245 a K2+282

→ **Sector K2+282 a K2+585:** Corresponde a un sector con 303 m de longitud, formado por dos carriles de 3 m de ancho, cada uno de los cuales está compuesto por 71 losas. En este sector la mayoría de las losas tienen una geometría rectangular con dimensiones 3x4.3 m.

Daños encontrados: En este sector solo se encontraron grietas en bloque (GB), las cuales afectan la totalidad del área de las losas. Este tipo de deterioro siempre es considerado como un daño con nivel de severidad alto (Fotografía 8.33)



Fotografía 8.33. Grietas en bloque sector K2+282 a K2+585 (Ref. 6.2.5.5)

En este sector todas las losas presentan un alto grado de deterioro.

→ **Sector K2+585 a K3+000:** Corresponde a un sector con 415 m de longitud, formado por dos carriles de 3 m de ancho, cada uno de los cuales está compuesto por 102 losas. En este sector la mayoría de las losas tienen una geometría rectangular con dimensiones 3x4.3 m, sin embargo se encontraron algunas con longitudes menores.

❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Los bloques generados por la fracturación de las losas en este tramo afectan prácticamente la totalidad del área de éstas. Este tipo de deterioro siempre es considerado como un daño con nivel de severidad alto. En este sector las grietas en bloque predominan en el carril derecho (Fotografía 8.34).



Fotografía 8.34. Grietas en bloque sector K2+585 a K3+000 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ ***Grietas Transversales (GT):*** Estas grietas tienen una longitud que cubre la totalidad del ancho de las losas, con aberturas que superan los 10 mm de ancho, por lo que se considera que estas grietas tienen un nivel de deterioro alto (Fotografía 8.35).



Fotografía 8.35. Grietas transversales sector K2+585 a K3+000 (Ref. 6.2.5.3)

En este sector hay 39 losas que presentan niveles de deterioro bajos.

Este tramo tiene un total de 206 losas, de las cuales 182 presentan deterioros con niveles muy altos de severidad.

➤ **Tramo D: K3+000 a K4+000**

→ **Sector K3+000 a K3+150:** Es un tramo con 150 m de longitud, compuesto por dos carriles de 3 m de ancho y con 36 losas en cada uno de ellos, en este sector predominan losas rectangulares con dimensiones de 3x4.2 m, la menor dimensión observada corresponde a 3x1.3 m.

Daños encontrados: El sector en mención presenta a lo largo de su longitud los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Los bloques formados por la fracturación de la losa en este sector afectan la totalidad del área de las losas. Este tipo de daño siempre se considera como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.36).



Fotografía 8.36. Grietas en bloque sector K3+000 a K3+150 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ **Grietas transversales (GT):** Las grietas transversales que se presentan en este sector tienen longitudes que comprenden el ancho total de las losas, con aberturas que superan los 10 mm, por lo que se puede decir que tienen un nivel de severidad alto (Fotografía 8.37).



Fotografía 8.37. Grietas transversales sector K3+000 a K3+150 (Ref. 6.2.5.3)

En este sector se presentan 12 losas en condiciones aceptables.

→ **Sector K3+150 a K4+000:** Corresponde a un tramo de 850 m de longitud, compuesto por dos carriles de 3 m de ancho y con 219 losas en cada uno de ellos, donde predominan losas rectangulares con dimensiones 3x4.2 m y solo algunas presentan dimensiones de 3x1.5 m.

Daños encontrados: El sector en mención presenta a lo largo de su longitud los siguientes tipos de deterioro:

❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Las grietas en bloque afectan el área total de la losa. Este tipo de daño siempre se considera como un deterioro de severidad alta. (Fotografía 8.38)



Fotografía 8.38. Grietas en bloque sector K3+150 a K4+000 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ **Hundimientos o Asentamientos (HU):** El área afectada de las losas debido a los hundimientos es hasta de 3.6 m^2 , con profundidades de hasta 90 mm, por lo que se puede decir que tienen un nivel de severidad alto. (Fotografía 8.39)



Fotografía 8.39. Hundimientos sector K3+150 a K4+000 (Ref. 6.2.5.17)

- ❖ **Escalonamiento de juntas longitudinales (EJL):** Se presenta un escalonamiento de 3.5 cm, lo que significa que este deterioro tiene un nivel de severidad alto, el desnivel se presenta a lo largo de toda la losa (Fotografía 8.40).



Fotografía 8.40. Escalonamiento longitudinal sector K3+150 a K4+000 (Ref. 6.2.5.14)

En este sector todas las losas tienen niveles de deterioro altos.

En este tramo hay un total de 255 losas, de las cuales 243 se encuentran en muy mal estado.

➤ **Tramo E: K4+000 a K5+000**

→ **Sector K4+000 a K4+789:** Corresponde a un tramo de 789 m de longitud, compuesto por dos carriles de 3 m de ancho y con 196 losas en cada uno de ellos, donde predominan losas con sección 3x4.2 m, la menor dimensión observada corresponde a 3x1.3 m.

Daños encontrados: El sector en mención presenta a lo largo de su longitud los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Las grietas en bloque afectan el área total de las losas. Este tipo de daño siempre se considera como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.41).



Fotografía 8.41. Grietas en bloque sector K4+000 a K4+789 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ **Hundimientos o Asentamientos (HU):** El área de afectación de la losa debido a los hundimientos es en promedio de 1.5 m² y éstos tienen profundidades que superan los 40 mm por lo que se los considera como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.42).



Fotografía 8.42. Hundimientos sector K4+000 a K4+789 (Ref. 6.2.5.17)

Nota 1: A la altura del K4+080 hay rastros de sobrecarpeta asfáltica que posiblemente sirvió para renivelar la superficie del pavimento, esto se extiende más o menos por 30 m (Fotografía 8.43)



Fotografía 8.43. Rastros de sobrecarpeta asfáltica sector K4+000 a K4+789

❖ **Baches (BCH):** Los baches en las losas afectan áreas de hasta 3.5 m^2 y debido a que han sido rellenados no se pudo determinar la profundidad que tienen (Fotografía 8.44).



Fotografía 8.44. Baches sector K4+000 a K4+789 (Ref. 6.2.5.12)

- ❖ **Desintegración (DI):** El tramo presenta desintegración de la superficie con un nivel de severidad medio y afectando el área total de las losas (Fotografía 8.45).



Fotografía 8.45. Desintegración sector K4+000 a K4+789 (Ref. 6.2.5.11)

En este sector todas las losas tienen daños con niveles de severidad altos.

- **Sector K4+789 a K4+806:** Este sector cuenta con 17 m de longitud y está compuesto por dos carriles de 3 m de ancho, cada uno de los cuales está conformado por 4 losas. Las losas que componen este tramo tienen dimensiones 3x4.2 m.

Daños encontrados: En este sector solo se presentaron grietas en bloque (GB), éstas afectan el área total de las losas. Este tipo de deterioro siempre se considera como un daño con nivel de severidad alto.



Fotografía 8.46. Grietas en bloque sector K4+789 a K4+806 (Ref. 6.2.5.5)

En este sector todas las losas presentan un alto nivel de deterioro.

→ ***Sector K4+806 a K4+815:*** Este sector corresponde a un tramo de 9 m de longitud compuesto por dos carriles de 3 m de ancho y cuatro losas a cada lado, donde 6 de las 8 losas totales presentan una geometría irregular, mientras que las otras dos presentan una geometría rectangular de dimensiones 3x4.2 m.

Daños encontrados: En este sector solo se encontraron grietas en bloque, éstas afectan el espesor total de las losas. Este tipo de grietas siempre se considera como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.48).



Fotografía 8.47. Grietas en bloque sector K4+806 a K4+815 (Ref. 6.2.5.5)

En este sector se presentan 2 losas con bajo nivel de deterioro.

→ **Sector K4+815 a K4+899:** Corresponde a un tramo de 84 m de longitud compuesto por dos carriles de 3m de ancho, cada uno de ellos conformado por 20 losas, las cuales tienen una geometría rectangular con dimensiones 3x4.3 m, aunque se encontraron algunas con menores dimensiones.

Daños encontrados: El sector en mención presenta a lo largo de su longitud los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ **Grietas longitudinales (GL):** Estas grietas tienen longitudes de hasta 1 m, con aberturas mayores a 10 mm, por lo que se pueden considerar como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.49).



Fotografía 8.48. Grieta longitudinal sector K4+815 a K4+899 (Ref. 6.2.5.2)

- ❖ **Grietas transversales (GT):** Estas grietas tienen longitudes que cubren la longitud total de la losa, con aberturas mayores a 10 mm, por lo que se puede decir que tienen un nivel de severidad alto (Fotografía 8.50).



Fotografía 8.49. Grieta transversal sector K4+815 a K4+899 (Ref. 6.2.5.3)

- ❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Estas grietas afectan el área total de la losa. Este tipo de daño siempre se considera como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.51).



Fotografía 8.50. Grietas en bloque sector K4+815 a K4+899 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ **Grieta de esquina (GE):** La longitud de estas grietas supera los 0.3 m, con aberturas mayores a 10 mm, por lo que se puede decir que tienen un nivel de severidad alto. (Fotografía 8.52)



Fotografía 8.51. Grietas de esquina sector K4+815 a K4+899 (Ref. 6.2.5.1)

Nota: En la abscisa K4+850 se pudo observar la presencia de humedad en algunas grietas (Fotografía 8.53).



Fotografía 8.52. Presencia de humedad en grietas K4+850

En este sector todas las losas presentan niveles de deterioro altos.

→ **Sector K4+899 a K4+939:** Corresponde a un tramo de 40 m de longitud compuesto por dos carriles de 3m de ancho, cada uno de ellos conformado por 10 losas las cuales tienen una geometría rectangular con dimensiones en su mayoría de 3x4.2 m, sin embargo se encuentran algunas con dimensiones de 3x1.5 m.

Daños encontrados: A lo largo de este sector solo se presentan grietas en bloque, éstas afectan el área total de las losas. Este tipo de daño siempre se considera como un deterioro de severidad alto (Fotografía 8.54).



Fotografía 8.53. Presencia de humedad en grietas K4+850 (Ref. 6.2.5.5)

En este sector todas las losas presentan un alto grado de deterioro.

→ **Sector K4+939 a K5+000:** Corresponde a un tramo de 61 m de longitud, compuesto por dos carriles de 3 m de ancho y con 15 losas en cada uno de ellos, donde predominan losas con sección 3x4.2 m, la menor dimensión observada corresponde a 3x1.3 m.

Daños encontrados: El sector en mención presenta a lo largo de su longitud los siguientes tipos de deterioro:

- ❖ **Grietas en bloque o Fracturación múltiple (GB):** Estas grietas afectan el área total de la losa. Este tipo de daño siempre se considera como un deterioro de severidad alta (Fotografía 8.55).



Fotografía 8.54. Grietas en bloque sector K4+939 a K5+000 (Ref. 6.2.5.5)

- ❖ **Grieta transversal (GT):** Estas grietas presentan longitudes que cubren la totalidad del ancho de las losas, con aberturas que superan los 10 mm de ancho, por lo que este tipo de daño tiene un nivel de severidad alto (Fotografía 8.56)



Fotografía 8.55. Grieta transversal sector K4+939 a K5+000 (Ref. 6.2.5.3)

En este sector se presentan 5 losas con niveles de deterioro bajos.

En este tramo hay un total de 249 losas, de ellas 242 presentan niveles de deterioro muy altos.

Nota: A lo largo de los 5 kilómetros de la vía auscultada se presenta deterioro del sello (DST, DSL), lo que permite la entrada de agua y materiales ajenos (Fotografía 8.57).



Fotografía 8.56. Deterioro del sello (Ref. 6.2.5.8)

8.3. Estudio de suelos

En este subcapítulo se hace mención a los estudios de suelo realizados en campo y laboratorio tales como granulometría, límites de Atterberg, esclerometría, proctor y CBR. Para la obtención de muestras de suelo en este proyecto, se realizaron siete apiques a lo largo de la vía y a diferentes profundidades (ver fotografía 9).

Granulometría. INV E-123

El INVIAS establece en el numeral 311.2 del artículo 300 de sus especificaciones, las franjas granulométricas a las que se debe ajustar el material de afirmado para una estructura de pavimento.

Para determinar la granulometría del material de afirmado, se efectuó un análisis granulométrico por tamizado a las muestras obtenidas mediante cada uno de los apiques realizados (ver fotografía 10 en Anexos).

A continuación se muestra una tabla con los valores especificados por el INVIAS:

Tabla 8.8. Franjas granulométricas para material de afirmado recomendadas por el INVIAS

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	A-1	A-2
37,5 mm	1 1/2"	100	–
25 mm	1"	–	100
19 mm	3/4"	80-100	90-100
9,5 mm	3/8"	60-85	65-90
4,75 mm	No. 4	40-65	45-70
2,0 mm	No.10	30-50	35-55
425 µm	No. 40	13-30	15-35
75 µm	No. 200	9-18	10-20

Limites de Atterberg INV E-125, INV E-126 y CBR INV E-148

Mediante los procedimientos descritos en las normas INV E-125 y E-126 se determinaron los límites líquido y plástico respectivamente de cada una de las muestras obtenidas con los apiques realizados (ver fotografías 11 y 12 en Anexos), así mismo, siguiendo el procedimiento descrito en la norma INV E-148 se establecieron los valores de CBR (ver resultados en Anexos) para las muestras obtenidas (ver fotografía 13 en Anexos); éstos resultados se compararon con los requisitos de los agregados para afirmados, establecidos en la tabla 300.1 del artículo 300 de las especificaciones del INVIAS.

Los requisitos a los que se deben ajustar los agregados para afirmados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8.9. Requisitos de los agregados para afirmados recomendados por el INVIAS

Ensayo	Norma de ensayo INV	Requisitos de los agregados para afirmados
Límite líquido (%)	E-125	≤ 40
Índice de plasticidad (%)	E-126	4 a 9
CBR (%)	E-148	≥ 15

Los resultados de estos ensayos para este proyecto se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8.10. Resultados de los ensayos realizados al material de afirmado

Apique (No.)	Muestra (No.)	Abscisa	Profundidad (m)	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	CBR (%)
1	1	K0+300	1,17 - 0,55	29.2	19.4	9.8	54
2	1	K0+800	0,17 - 0,50	29.2	19.4	9.8	54
3	1	K1+350	0,15 - 0,45	–	NP	–	20
4	1	K2+000	0,17 - 0,50	–	NP	–	
5	1	K3+000	0,14 - 0,45	–	NP	–	25
6	1	K3+700	0,17 - 0,40	28.7	17.5	11.2	
7	1	K4+600	0,16 - 0,50	–	NP	–	25

Para el material de la subrasante se obtuvo los siguientes resultados de CBR:

Tabla 8.11. Valores de CBR del material de subrasante

Apique (No.)	Muestra (No.)	Abscisa	Profundidad (m)	CBR (%)
1	2	K0+300	0.55 - 1.20	2.7
2	3	K0+800	0.65 - 1.00	3.4
3	2	K1+350	0.45 - 1.10	3.4
4	2	K2+000	0.50 - 1.00	2.5
5	2	K3+000	0.45 – 1.05	–
6	–	K3+700	–	–
7	2	K4+600	0.50 - 1.00	3.0

Esclerometría. INV E-413

Para este proyecto se realizaron pruebas de esclerometría en diferentes sectores de la vía (ver fotografía 14 en Anexos). Con los valores de resistencia a la compresión y curvas de correlación, se pudo determinar que el concreto existente presenta módulos de rotura (MR) mínimos de 29 Kg/cm² y máximos de 43 Kg/cm².

A continuación se muestran los resultados obtenidos y la gráfica correspondiente.

Tabla 8.12. Resultados de las pruebas de esclerometría

LOSA	MR (Kg/cm2)	
20	36	40
	33	37
38	36	40
	31	35
63	32	37
111	33	38
182	29	33
	37	42
220	33	37
229	34	38
315	32	36
340	31	35
341	32	37
427	32	37
485	33	38
581	33	38
637	38	43
673	38	42

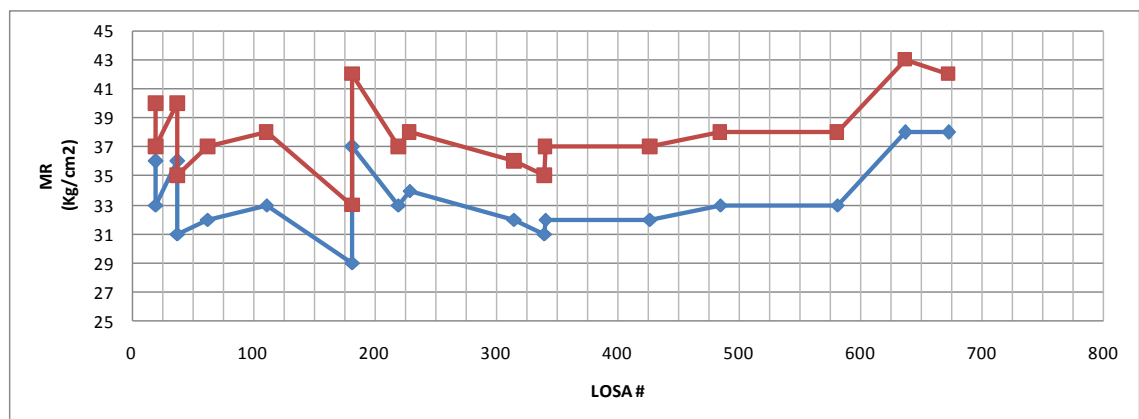


Figura 8.2. Resultados de las pruebas de esclerometría

Descripción de la estructura del pavimento existente

A partir de los datos obtenidos en los apiques realizados, se describe un perfil estratigráfico para cada uno de ellos, lo que permite interpretar de manera más clara la distribución de los diferentes estratos de suelo existentes en el tramo de estudio.

Los estratos fueron clasificados de acuerdo a la clasificación unificada de suelos.

A continuación se presenta una descripción estratigráfica para cada apique con su respectiva distribución de materiales.

Apique No. 1

En este apique, ubicado en la abscisa K0+300 se halla una losa de concreto hidráulico de 17 cm de espesor; bajo la cual se encuentra una capa de material de relleno, compuesto por grava bien gradada con presencia de limo y de origen aluvial, dicha capa se extiende desde la cota anteriormente citada hasta los 55 cm. El siguiente estrato se extiende desde los 55 cm hasta los 155 cm (máxima profundidad de exploración), este estrato está conformado por limo de alta plasticidad.

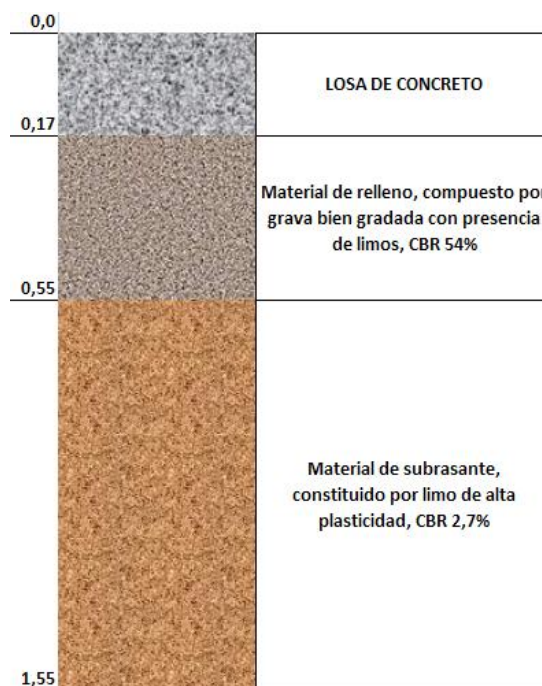


Figura 8.3. Estratigrafía apique No. 1

Apique No. 2

En este apique, ubicado en la abscisa K0+800 se encuentra una losa de concreto hidráulico de 17 cm de espesor, bajo ella se halla un estrato conformado por material de relleno, constituido por grava bien gradada con presencia de limo y de origen aluvial, dicha capa se extiende desde los 17 cm hasta los 50 cm. El siguiente estrato está conformado por arcilla de alta plasticidad con presencia de raíces y material vegetal inerte, esta capa se

extiende desde los 50 cm hasta los 65 cm; bajo éste estrato se encuentra una capa de con material constituido por limo de alta plasticidad, ésta se extiende desde los 65 cm hasta los 110 cm. El siguiente estrato se extiende desde los 110 cm hasta los 150 cm y está conformado también por un limo de alta plasticidad, sin embargo tiene un CBR menor que el CBR de la capa anteriormente descrita.



Figura 8.4. Estratigrafía apique No. 2

Apique No. 3

En este apique, localizado en la abscisa K1+350 se encuentra una losa de 15 cm de espesor, la cual está soportada por una capa de material de relleno saturado, conformado por grava limosa de origen aluvial, esta capa se extiende desde los 15 cm hasta los 45 cm. El siguiente estrato se extiende desde los 45 cm hasta los 110 cm y está constituido por arcilla de alta plasticidad. Bajo este estrato se encuentra una capa de suelo constituido por limo de alta plasticidad, la cual se extiende desde los 110 cm hasta los 150 cm.



Figura 8.5. Estratigrafía apique No. 3

Apique No. 4

En este apique, localizado en la abscisa K2+000, se encuentra una losa de 17 cm de espesor, bajo la cual se encuentra una capa de material de relleno saturado, constituido por grava limosa de origen aluvial, esta capa se extiende desde los 17 cm hasta los 50 cm. Soportando la capa descrita anteriormente, se encuentra un estrato de suelo compuesto por arcilla de alta plasticidad, esta capa se extiende desde los 50 cm hasta los 115 cm. El siguiente estrato se extiende desde los 115 cm hasta los 150 cm y está conformado por limo de alta plasticidad.

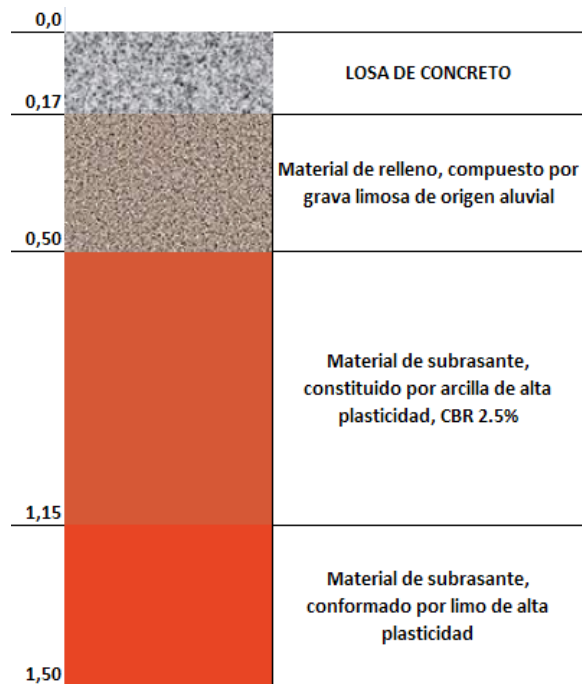


Figura 8.6. Estratigrafía apique No. 4

Apique No. 5

En este apique, localizado en la abscisa K3+000 se encuentra una losa de concreto hidráulico de 14 cm de espesor, apoyada sobre una capa de material de relleno saturado conformada por grava mal gradada con presencia de limo y de origen aluvial; esta capa se extiende desde los 14 cm hasta los 45 cm. El siguiente estrato se extiende desde los 45 cm hasta los 105 cm, y está constituido por arcilla de alta plasticidad con características orgánicas como olor y textura. Bajo este estrato, se encuentra una capa de suelo que se extiende desde los 105 cm hasta los 150 cm y está constituido también por arcilla de alta plasticidad con características orgánicas como olor y textura, sin embargo este ultimo estrato tiene un límite líquido y un índice plástico menores a los de la capa superior.

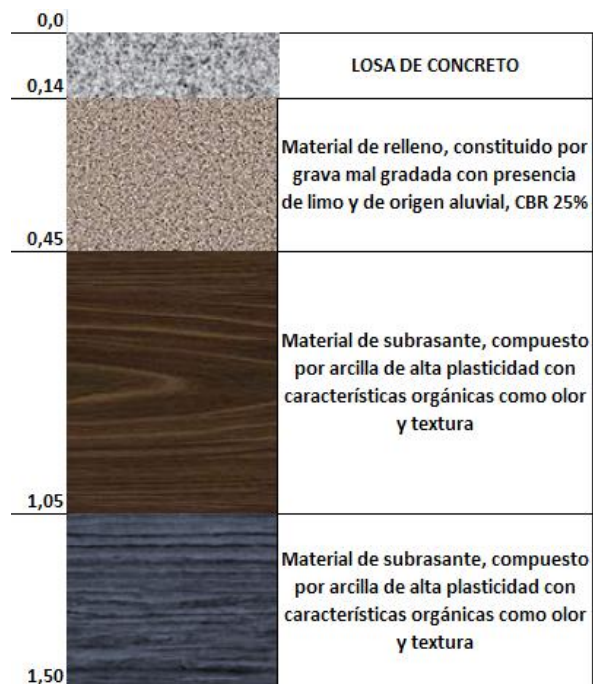


Figura 8.7. Estratigrafía apique No. 5

Apique No. 6

Este apique se halla en la abscisa K3+700. Bajo la losa de concreto hidráulico de 17 cm de espesor, se encuentra una capa de relleno saturado compuesto por arena limosa de origen aluvial; éste apique tuvo que ser suspendido, pues la aparición del nivel freático hizo imposible continuar con la exploración.

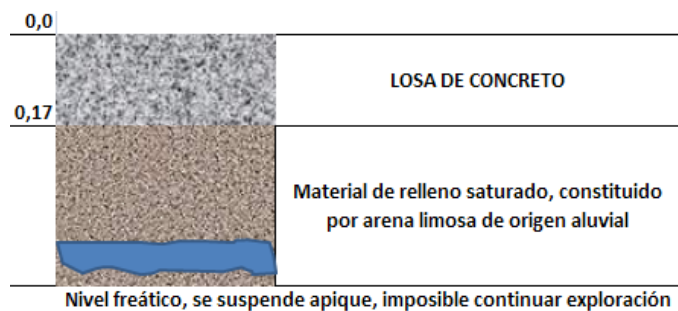


Figura 8.8. Estratigrafía apique No. 6

Apique No. 7

En este apique, ubicado en la abscisa K4+600 se encuentra una losa de concreto hidráulico con un espesor de 16 cm, bajo ella se halla una capa de material de relleno saturado compuesto por grava mal gradada con presencia

de limo y de origen aluvial; esta capa se extiende desde los 16 cm hasta los 50 cm. El siguiente estrato se extiende desde los 50 cm hasta los 70 cm y está compuesto por limo. Bajo este estrato se encuentra una capa de suelo que se extiende desde los 70 cm hasta los 120 cm, compuesta también por limo, sin embargo este material tiene un límite líquido y un índice de plasticidad mayores que los de la capa anterior.

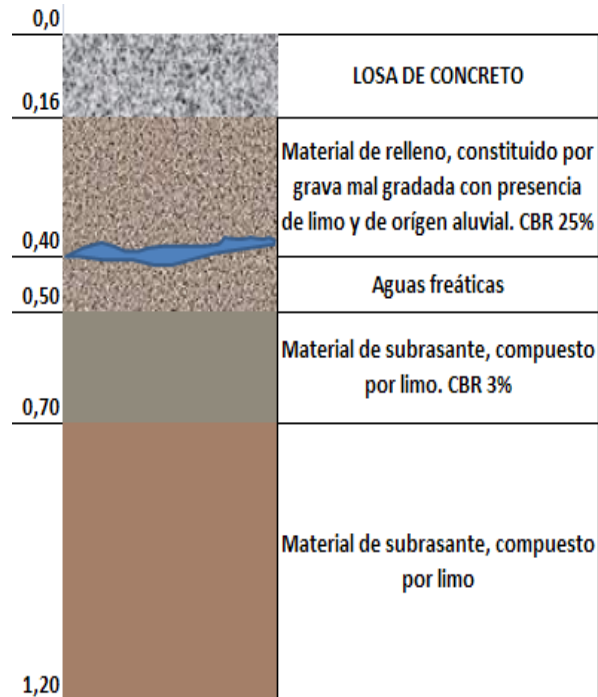


Figura 8.9. Estratigrafía apique No. 7

8.4. Estructuras de drenaje

El exceso de agua u otros fluidos en los suelos o en la estructura de una carretera, afecta sus propiedades geomecánicas, los mecanismos de transferencia de carga, presiones de poros, subpresiones de flujo, presiones hidrostáticas, e incrementa la susceptibilidad a los cambios volumétricos. Por tal motivo, y aún cuando el agua es un elemento fundamental para la vida, es también una de las causas más relevantes del deterioro prematuro de la infraestructura vial.

Control de aguas superficiales

- *Drenaje longitudinal*

La vía estudiada en este proyecto, carece de estructuras de drenaje longitudinal (cunetas o bordillos).

- *Drenaje transversal*

A lo largo de la vía se observaron diferentes tipos de alcantarillas. A continuación se describe la ubicación, características y estado de cada una de ellas.

Abscisa K1+257: En este punto hay una alcantarilla en cajón, de dimensiones 5.7x1.8 m (Fotografía 8.58).



Fotografía 8.57. Alcantarilla en cajón

Abscisa K1+935: En este punto se encuentra una alcantarilla en cajón, de dimensiones 2x2 m (Fotografía 8.59), en esta alcantarilla se puede observar que el agua ha provocado una socavación en la estructura, lo que no le permite trabajar correctamente.



Fotografía 8.58. Alcantarilla en cajón

Abscisa K1+935: En este lugar se halló una alcantarilla en cajón, totalmente seca y deteriorada, esta alcantarilla presenta dimensiones 2.2x1 m (Fotografía 8.60).



Fotografía 8.59. Alcantarilla en cajón

Abscisa K2+280: En esta abscisa se encuentra una alcantarilla con dos tuberías de diámetro 36 in (Figura 8.61), esta alcantarilla presenta deterioro en su estructura.



Fotografía 8.60. Alcantarilla con doble tubería

Abscisa K2+570: En este punto se encuentra una alcantarilla circular con dimensiones 5.4x2.2 m (Fotografía 8.62).



Fotografía 8.61. Alcantarilla de tubería

Abscisa K2+653: En este punto se halla una alcantarilla circular con dimensiones 5.4x2.2 m (Fotografía 8.63), esta estructura aparentemente se encuentra en buenas condiciones.



Fotografía 8.62. Alcantarilla de tubería

Abscisa K3+819: En este punto se encuentra una alcantarilla rectangular, con dimensiones 0.7x1.0 m (Fotografía 8.64).



Fotografía 8.63. Alcantarilla rectangular

Abscisa K3+856: En este punto se presenta una alcantarilla circular de diámetro 24 in (Fotografía 8.65).



Fotografía 8.64. Alcantarilla circular

Obras para el control de erosión de taludes

Debido a que la zona en la que se encuentra la vía estudiada en este proyecto es plana, no han sido necesarias este tipo de obras de drenaje.

Control de aguas de infiltración

El control de aguas de subterráneas, que hace parte de los alcances de este proyecto, durante las inspecciones realizadas no se presento indicios de estructura alguna para el control de las mismas. La información suministrada tampoco revela la presencia de ellas.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De las observaciones realizadas durante la evaluación superficial del estado del pavimento (Capítulo 8.2.3), los aforos realizados (Capítulo 8.1.1) y las exploraciones geotécnicas realizadas (Capítulo 8.3); se pueden resumir los principales agentes que inciden para el deterioro de la vía en estudio:

Drenaje

- Problemas de drenaje superficial: Ausencia de cunetas, escasas alcantarillas, niveles de rasante inferior a las zonas aledañas (Fotografía 9.1), donde la evacuación de las aguas se hace con flujo de lentos a nulos en las zonas donde el perfil longitudinal de la vía es con tendencia horizontal y medio a alto, en las zonas donde este nivel es pronunciado, pero con incidencia hacia de flujo a las áreas horizontales anteriormente citadas.



Fotografía 9.1. Ausencia de estructuras de drenaje de aguas superficiales

- Problemas de drenaje de aguas freáticas: Las zonas que representan los apiques # 3 (K1+350), # 6 (K3+700) y # 7 (K4+600) con niveles de aguas freáticas con profundidad no mayor a 0.5 metros (Fotografía 10.2). Durante las exploraciones realizadas en campo no se encontró filtros ni estructura alguna que limitara el paso de estas aguas bajo la estructura del pavimento.



Fotografía 9.2. Problemas de drenaje de aguas freáticas

- Ausencia total de sello en las juntas entre las losas de concreto hidráulico (Fotografía 9.3).



Fotografía 9.3. Ausencia de sello en juntas

Concreto hidráulico

- Espesor de las losas de concreto hidráulico 15 a 17 cm.

- Gran variación de modulo de rotura, entre 2.9 y 3.8 MPa, durante las pruebas realizadas con el esclerómetro para una misma losa de concreto se pueden obtener variaciones como en el caso de la losa # 182 donde los MR varían entre 2.9 y 3.7 MPa.
- Presencia de algunos sobre tamaños superiores a 3 pl. como agregado mineral del concreto hidráulico.
- Relación de esbeltez de las losas, variación entre 1.4 y 1.7
- Sistemas de transferencia de carga inadecuados.

Tráfico

- Muy probablemente el transito actual superó las condiciones de diseño para las cuales fue diseñada la estructura del pavimento.
- Volquetas con carga producto de la explotación minera (Fotografía 9.4), que muy probablemente, superan los pesos brutos permitidos, que se regula para los tipo 3, este no debe ser superior a 28.000 Kg. (resolución 001782 de 2009 del Ministerio de Transporte). Se observó la Volqueta International 7600, que según información obtenida, el peso vacio de esta es de 11 ton y la capacidad de carga es de 15 m³ de fabrica, el vehículo que circulo durante los aforos, amplía esta capacidad entre 15 a 20 %, luego la capacidad de carga aumenta en 18 m³, para no superar las 28 toneladas exigidas el material transportado no debe pesar más de 17 toneladas, luego para que cumpla esta condición el peso unitario suelto no debe ser inferior a 0.95 ton/m³. Los pesos unitarios suelto de los materiales finos (bauxita), Granulares (carbón y agregados pétreos) superan fácilmente 1.2 tonelada/m³



Fotografía 9.4. Volquetas cargadas con productos mineros

La falta de un adecuado manejo de aguas tanto superficiales como freáticas, implica la filtración de estas hacia la estructura del pavimento.

Las aguas superficiales se infiltraron, en principio, por las juntas con deficiente sello y por los bordes del pavimento, en zonas de perfil longitudinal horizontal, hacia el material soporte de las losas, creando variaciones en la humedad en el relleno granular, que a su vez, actuó como filtro cuya acción drenante permitió el paso del agua al suelo fino de subrasante.



Fotografía 9.5. Infiltración de agua en juntas y grietas.

La capacidad de respuesta a solicitaciones externas del material de subrasante al saturarse, implica una disminución en su valor que no será homogéneo en toda el área si no que varía respecto a los sectores donde hay mayor o menor humedad. (Nótese en las pruebas de laboratorio obtenidas el valor de CBR en estado con humedad natural y en estado saturado).

El tráfico y en especial el tránsito de volquetas con excesivo peso, transmitieron cargas a la estructura, de tal manera que hubo una concentración de esfuerzos en zonas puntuales y a su vez deformaciones diferenciales y asentamientos, que conllevan esfuerzos tanto a compresión como flexión, estos últimos los más críticos, que si superan las condiciones estáticas y de fatiga ultimas, fallarían presentando fisuras tanto longitudinales, transversales y de esquina, que por exceso de repeticiones evolucionarían a fisuras en bloque con respectivos escalonamientos.

10. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Teniendo en cuenta el alto grado de deterioro que presentan más del 85% de las losas, se concluyó que la mejor opción para su rehabilitación es el retiro y remplazo de éstas.

Se recomiendan entonces tres alternativas de diseño para la nueva estructura del pavimento: Dos utilizando concreto asfáltico para periodos de diseño de 10 y 20 años y la otra alternativa, usando losas de concreto hidráulico, para un periodo de diseño de 20 años.

10.1. Alternativa 1. Pavimento flexible (n = 10 años)

10.1.1. Consideraciones de diseño

El método Shell regirá el diseño de los espesores del pavimento flexible de este proyecto. Este método considera la estructura del pavimento como un sistema multicapa linealmente elástico, en el cual los materiales se encuentran caracterizados por su modulo de elasticidad de Young (E) y su relación de Poisson (μ). Los materiales de la estructura se consideran homogéneos e isotrópicos y se supone que las capas tienen extensión infinita en sentido horizontal.

Los criterios básicos para el diseño estructural son las siguientes:

1. Si la deformación horizontal por tracción (ϵ_T) en la fibra inferior de las capas asfálticas supera la admisible, se producirá el agrietamiento de ellas.
2. Si la deformación vertical (ϵ_V) por compresión en la subrasante supera el límite admitido por ella, se producirá una deformación permanente de la subrasante y por consiguiente del pavimento.

El procedimiento básico de diseño, supone al pavimento como una estructura tricapa (Figura 9.1), en la que la capa superior corresponde a las carpetas asfálticas, la intermedia a las capas granulares y la inferior, que es infinita en sentido vertical, corresponde a la subrasante.

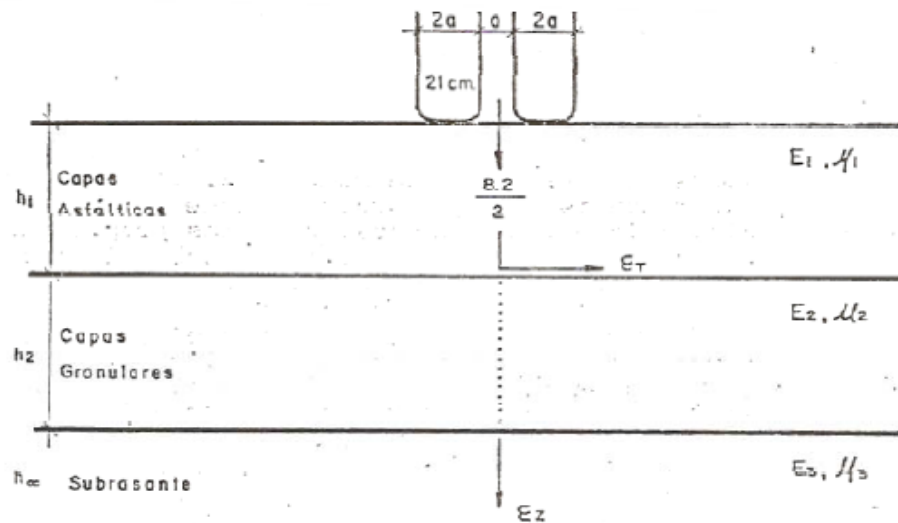


Figura 10.1. Estructura tricapas de un pavimento flexible (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición Bogotá)

El método de diseño consiste en elegir la combinación de espesores y características de los materiales (ϵ y μ) de las diversas capas del pavimento, de modo que las deformaciones, horizontal por tracción (ϵ_T) y vertical por compresión (ϵ_V), permanezcan dentro de límites admisibles durante el período de diseño del pavimento.

Los valores admisibles de las deformaciones ϵ_T y ϵ_V , se han hallado a través de investigaciones de campo y laboratorio, encontrándose que ϵ_T es inversamente proporcional al tránsito (N). Relación que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\epsilon_T = a \left[\frac{1}{N} \right]^b$$

Donde:

ϵ_T = Deformación por tracción en las capas asfálticas.

N = Número de repeticiones de carga.

a, b = Coeficientes determinados por experiencias de campo y laboratorio.

Igualmente, (ϵ_V) es inversamente proporcional al tránsito (N) y se expresa así:

$$\epsilon_V = c \left[\frac{1}{N} \right]^d$$

Donde:

ϵ_V = Deformación vertical por compresión.

N = Número de repeticiones de carga.

c, d = Coeficientes determinados por experiencias de campo y laboratorio.

A partir de estos conceptos y usando un complejo programa de cálculo de esfuerzos y deformaciones en sistemas elásticos multicapa, la Shell ha preparado un programa de cómputo llamado BISAR. Mediante el cual, conociendo las características de los materiales y asumiendo espesores de las diversas capas del pavimento, se puede computar la magnitud de las deformaciones ε_T y ε_V .

La Shell ha elaborado una serie de gráficos de diseño a partir de los resultados de su programa de cómputo.

En una primera serie presenta una combinación de espesores de las capas asfálticas (h_1) y de las capas granulares (h_2) para que satisfagan los criterios de deformación horizontal por tracción (ε_T) (Figura 9.2). Los espesores a_1 en las capas asfálticas y a_2 en capas granulares, combinados, cumplen con ese requisito.

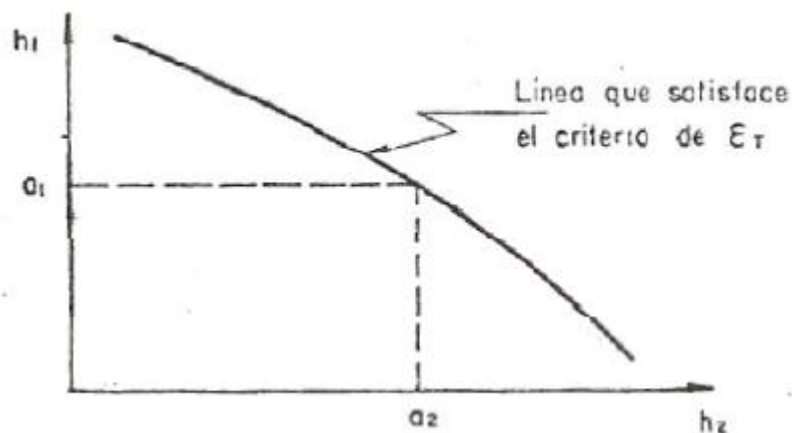


Figura 10.2. Curva que satisface el criterio de deformación por tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición Bogotá)

En una segunda serie presenta una combinación de espesores de capas asfálticas y granulares que satisfacen los criterios de deformación vertical por compresión (Figura 9.3). La combinación de los espesores a_3 y a_4 cumplirán con este requisito.

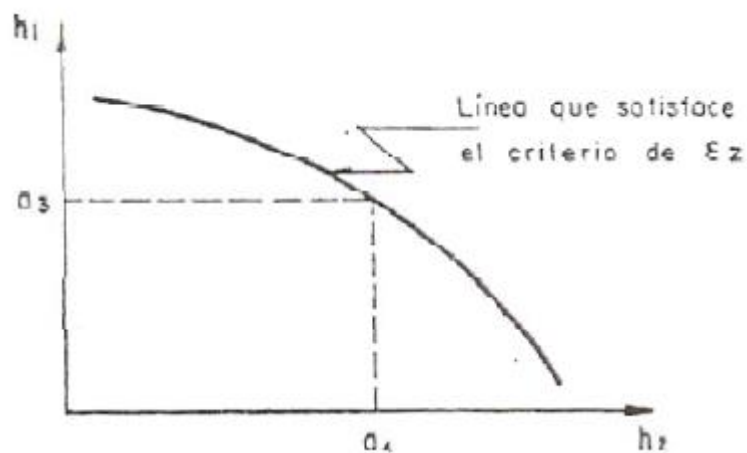


Figura 10.3. Curva que satisface el criterio de deformación vertical por compresión en la subrasante (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición Bogotá)

Como se requiere satisfacer simultáneamente los dos criterios básicos para el diseño estructural, la Shell fusionó las dos curvas de las figuras 9.2 y 9.3 (Figura 9.4), dando origen con ello a las cartas de diseño que actualmente utiliza el método.

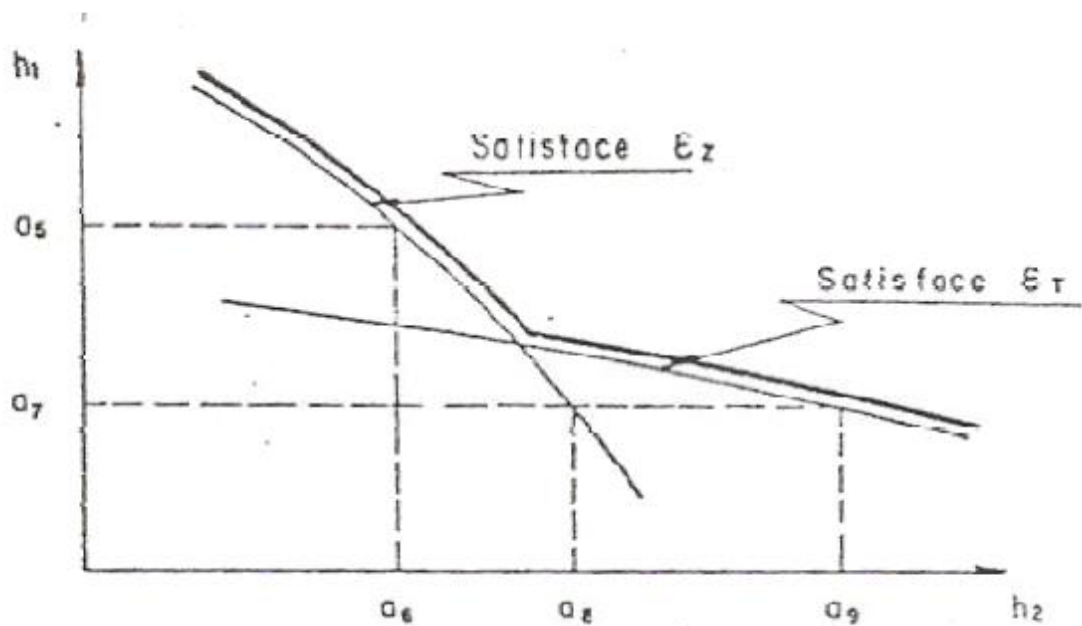


Figura 10.4. Envolvente que satisface simultáneamente ϵ_V y ϵ_T (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición Bogotá)

Con a_5 de espesor de capas asfálticas y a_6 de capas granulares se satisfacen los dos criterios. El de ϵ_V apenas cumple y por ϵ_T está sobrado. Con a_7 de capas asfálticas y a_8 de capas granulares hasta a_9 para cumplir también el

criterio de ε_V pero no se cumple el de ε_T . Cuando esto sucede, se debe aumentar el espesor de las capas granulares hasta a_9 para cumplir también el criterio de deformación por tracción.

Es de anotar que no se aconseja considerar puntos a la derecha de donde se cruzan las curvas ya que por una pequeña reducción en el espesor de las capas asfálticas hay que aumentar bastante las capas granulares.

10.1.2. Parámetros de diseño

Los parámetros que se deben evaluar para el diseño son los siguientes:

1. El tránsito.
2. La temperatura.
3. Las propiedades de la subrasante, subbase y base.
4. Características de la mezcla asfáltica.

1. **El tránsito:** El dato del tránsito, requerido para el diseño del pavimento, por el método Shell, se efectúa a través del número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, por eje sencillo, que se espera circulen sobre el pavimento durante el período de diseño. Su valoración se hace mediante la siguiente expresión:

$$N = TPD \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times 365 \times \frac{(1 + r)^n - 1}{Ln(1 + r)} \times FC$$

Siendo:

TPD = Tránsito promedio diario, proyectado para el primer año de servicio del pavimento.

A = % de vehículos comerciales (buses + camiones).

B = % de vehículos comerciales que emplean el carril de diseño.

n = Período de diseño (años).

r = Tasa de crecimiento anual de tránsito.

FC = Factor camión.

2. **La temperatura:** El método concede especial importancia a la temperatura de la zona donde va a quedar construido el pavimento y aunque las variaciones diarias y estacionales no presentan influencia significativa en los módulos de elasticidad de las capas granulares, si son influyentes en las propiedades de las capas asfálticas a causa de la susceptibilidad térmica del asfalto que las constituye. El comportamiento de una mezcla asfáltica igual, es diferente en clima frío que en caliente

Por las razones anteriores, el método presenta un procedimiento para estimar una temperatura media anual ponderada del aire (w-MAAT) en la región del proyecto, la cual se define a partir de las temperaturas medias mensuales del aire (MMAT), que en Colombia se obtienen en el HIMAT, y con ellas se determina unos factores de ponderación que se obtienen mediante la curva de ponderación de la temperatura (ver figura 30 en Anexos).

- 3. Las propiedades de la subrasante, subbase y base:** El método exige el conocimiento del módulo dinámico de elasticidad de la subrasante que es el conocido en nuestro medio como el módulo de resiliencia (MR). Este módulo se puede hallar mediante ensayos de laboratorio de tipo triaxial, con aplicación dinámica de carga sobre muestras que presenten condiciones apropiadas de humedad y densidad.

Cuando no sea posible efectuar los ensayos por no tener los equipos de laboratorio, se acude a los ensayos tradicionales de resistencia (CBR y prueba de placa) y con base en ellos se determina en forma indirecta el módulo dinámico. En nuestro medio el ensayo de resistencia más difundido es el CBR y la ecuación que permite determinar el módulo dinámico es:

$$MR = 10^7 \times CBR \quad N/m^2$$

Para determinar el módulo resiliente de la base y la subbase, la Shell emplea la misma correlación utilizada para la subrasante.

- 4. Características de la mezcla asfáltica:** Existen infinitud de variedades de mezclas asfálticas, pero, para efecto del método, la Shell considera que dos propiedades de ellas son fundamentales:

- a) Su módulo de elasticidad dinámico a cortos tiempos de aplicación de carga (*Stiffness*).
- b) Resistencia de la mezcla a la fatiga, es decir, al agrietamiento por su flexión repetida bajo la acción de las cargas.

Con relación al *Stiffness* el método distingue dos tipos de mezclas; las S1 que son mezclas corrientes de cemento asfáltico de alta rigidez y con contenidos normales o promedios de agregados, de asfalto y de vacíos con aire. Las mezclas del tipo S2 son mezclas de baja rigidez, mezclas abiertas que tienen un alto contenido de vacíos con aire y un bajo contenido de asfalto. Dentro de este tipo también se incluyen las mezclas con un alto contenido de asfalto como es el caso de la arena – asfalto.

En cuanto a la *Fatiga*, el método distingue dos tipos de mezclas: las F1 que tienen alta resistencia y que tiene cantidades moderadas de vacío con aire

y de asfalto, y las F2, de baja resistencia y que tienen altos volúmenes de vacíos con aire.

Este método considera únicamente dos tipos de cemento asfáltico para la elaboración de las mezclas asfálticas; los de penetración 50 (1/10 mm) que se emplean en climas cálidos y los de penetración 100 (1/10 mm) que se emplean en climas fríos.

Con base en lo anterior, la Shell reconoce para el diseño ocho (8) tipos (o códigos) de mezclas asfálticas y presenta gráficas de diseño diferentes para cada una de ellas, estos son:

S1-F1-50	S2-F1-50
S1-F2-50	S2-F2-50
S1-F1-100	S2-F1-100
S1-F2-100	S2-F2-100

Para determinar el tipo de mezcla asfáltica (código) la Shell presenta una serie de gráficas que están en función de ensayos rutinarios de laboratorio. El procedimiento a seguir considera los siguientes pasos:

a) Determinación del índice de penetración y la temperatura T_{800} del asfalto.

El asfalto con el cual se va a elaborar la mezcla asfáltica y que se usará en la obra, se le hacen varios ensayos de penetración a diferentes temperaturas para determinar su susceptibilidad térmica.

Con ayuda de la gráfica de Heukelom (ver figura 31 en Anexos) se halla el índice de Penetración (IP) que es una medida de la susceptibilidad térmica del asfalto, y también el T_{800} que es la temperatura a la cual la penetración es de 800 décimas de milímetro.

Cuanto más bajo sea el IP, más susceptible será el asfalto a los cambios de temperatura. Los mejores asfaltos para pavimentaciones tienen valores de IP que oscilan entre -1 y +0.5.

b) Determinación del *Stiffnes* del asfalto a la temperatura de trabajo en obra

Se emplea la gráfica de Van Deer Poel (ver figura 32 en Anexos). Para ello es necesario conocer la siguiente información:

- Índice de penetración
- Tiempo de aplicación de carga. La Shell recomienda emplear un tiempo de 0.02 seg. Que corresponde a una velocidad del vehículo de 50-60 Km/hora.
- $\Delta T = T_{800} - T_{mezcla}$

Siendo T_{mezcla} , la temperatura de la mezcla que es función de la temperatura ambiente y se obtiene del gráfico RT (ver figura 33 en Anexos)

c) Determinación del *Stiffness* de la mezcla asfáltica

Se emplea la gráfica de Heukelom (ver figura 34 en Anexos) y para ello es necesario conocer, además del *Stiffness* del asfalto, la composición volumétrica de la mezcla asfáltica de acuerdo con el diseño de ella en el laboratorio. Para el caso de las mezclas asfálticas en caliente, el diseño se basa en el método *Marshall*.

d) Identificación del código de rigidez de la mezcla (Tipo S1 o S2)

Se emplea el Gráfico M-I (ver figura 35 en Anexos) en el cual se ubica el punto de confluencia del *Stiffness* del asfalto y de la mezcla, dependiendo de la cercanía del punto a las curvas S1 o S2, se determinará el código de rigidez de la mezcla.

e) Determinación de la deformación máxima admisible específica de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas

Se emplea para su determinación el nomograma de fatiga (ver figura 36 en Anexos).

f) Identificación del código de fatiga de la mezcla

Se emplean las figuras características de fatiga F1 y F2 (Ver figuras 37 y 38 en Anexos). En ambas se busca el punto de confluencia entre el *Stiffness* de la mezcla y la deformación por tracción ϵ_T . Se escoge el código de fatiga en el que el punto de confluencia se acerque más al valor de N.

g) Identificación del código total de la mezcla

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los apartes d) y f), y adicionándole a esto el tipo de asfalto empleado con base en la penetración obtenida, se puede determinar el código total de la mezcla.

10.1.3. Cálculo de los parámetros de diseño sector K0+000-K4+000

Determinación del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y durante el período de diseño (N)

$$N = TPD \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times 365 \times \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} \times FC$$

Tránsito promedio diario proyectado para el primer año de servicio:

El tránsito promedio diario proyectado para el primer año de servicio, con una tasa de crecimiento anual del tránsito de 3% se determino a partir de la siguiente expresión:

$$Tn = Ti \times (1 + r)^n$$

Donde:

Tn = Tránsito en cualquier año n.

Ti = Tránsito en el año cero (inicial).

r = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

Entonces:

$$Tn = 868 \times (1 + 0.03)^1 = 894 \text{ Vehículos/día}$$

Porcentaje de vehículos comerciales (buses + camiones) (A):

De la tabla 8.3 se tiene que el número total de vehículos comerciales corresponde a un 27%.

Porcentaje de vehículos comerciales que emplean el carril de diseño (B)

Para este caso se trabajó con un porcentaje de vehículos comerciales en el carril de diseño de 50%.

Factor Camión

Este factor se determino en el capítulo 8.1.3 y se escogieron los valores determinados mediante el método propuesto por la Universidad del Cauca, pues estos son mayores a los que se estimaron por el método Mopt-Ingeroute.

Con esta información se tiene que:

$$N = 894 \times \frac{27}{100} \times \frac{50}{100} \times 365 \times \frac{(1 + 0.03)^{10} - 1}{\ln(1 + 0.03)} \times 1.35 = 7.06E5$$

Temperatura

Debido a que no se pudo obtener información acerca de las temperaturas medias mensuales del municipio de Jamundí, se decidió trabajar con los valores correspondientes al municipio de Cali durante el año 2010 (ver tabla 7 en Anexos). Con el promedio de los factores de ponderación (1.65) y mediante el Diagrama w (ver figura 30 en Anexos) se obtuvo una temperatura media anual ponderada del aire (w-MAAT) de 24 °C.

Propiedades de la subrasante, subbase y base

Debido a que no se pudo contar con los equipos de laboratorio necesarios para determinar en forma directa el módulo de resiliencia (MR), se recurrió a los ensayos de CBR y con base en ellos se determinó mediante la siguiente expresión:

$$MR_{\text{subrasante}} = 10^7 \times \text{CBR} = 10^7 \times 2.8 = 2.8 \times 10^7 \text{ N/m}^2.$$

$$MR_{\text{relleno}} = 10^7 \times \text{CBR} = 10^7 \times 20 = 2.0 \times 10^8 \text{ N/m}^2.$$

"Para determinar el módulo resiliente de la base y subbase, la Shell emplea la misma correlación utilizada para la subrasante".

Para la subrasante se determinó el CBR de diseño mediante el cálculo de los porcentajes de valores que igualan o superan cada valor de resistencia, los cuales se graficaron y mediante esta grafica se determinó el valor de resistencia correspondiente al percentil 75, que en este caso dio como resultado 2.8.

Para el relleno se tomó el menor valor obtenido de CBR que es 20.

Características de la mezcla asfáltica

Determinación del índice de penetración y la temperatura T_{800} del asfalto

Mediante la realización de varios ensayos de penetración a diferentes temperaturas practicados al asfalto con el que se espera elaborar la mezcla asfáltica, se obtuvieron los siguientes resultados:

Temperatura °C	Penetración (1/10 mm)
16	22
24	52

Con estos valores y con ayuda del nomograma para calcular el índice de penetración y la temperatura T_{800} (ver figura 31 en Anexos) se obtuvo un T_{800} de 51 °C y un índice de plasticidad (IP) de -0.6.

Determinación del *Stiffness* del asfalto a la temperatura de trabajo en obra

Con ayuda del Gráfico RT (ver figura 33 en Anexos), se determina un valor para la temperatura de la mezcla igual a 33.5 °C. Con este valor se calcula Δ_T mediante la expresión:

$$\Delta_T = 51 - 33.5 = 17.5 \text{ °C}$$

Con el valor del índice de penetración (-0.6), un tiempo de aplicación de carga de 0.02 sg, (recomendado por la Shell) y el valor de Δ_T , se entra a la gráfica de Van Der Poel (ver figura 32 en Anexos) y se obtiene un *Stiffness* del asfalto de 2×10^7 N/m².

Determinación del *Stiffness* de la mezcla asfáltica

De acuerdo a los resultados del diseño Marshall de mezcla asfáltica para agregados y mezclas Cachibí (ver tabla 39 en Anexos), para un porcentaje de asfalto de 5.3, se obtuvo la siguiente composición volumétrica:

Agregados: 83%

Asfalto: 12%

Aire: 5%

Con el valor del *Stiffness* del asfalto (2×10^7 N/m²) y la composición volumétrica de la mezcla asfáltica, se entra a la gráfica de Heukelom (ver figura 34 en Anexos) y se obtiene un *stiffness* de la mezcla asfáltica de 3.3×10^9 N/m².

Identificación del código de rigidez de la mezcla (Tipo S1 o S2)

Debido a que el punto de confluencia del *Stiffness* del asfalto (2×10^7 N/m²) y de la mezcla (3.3×10^9 N/m²) se halla más cerca a la curva S1 del gráfico M-I (ver figura 35 en Anexos), se determina que el código de la mezcla es S1.

Determinación de la deformación máxima admisible específica de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas

Con los valores de *Stiffness* de la mezcla (3.3×10^9 N/m²), volumen del asfalto (12%) y N (7.06×10^5), se entra al nomograma de fatiga para determinación ϵ_{FAT} de la mezcla (ver figura 36 en Anexos) y se obtiene un valor de ϵ_T igual a 2.9×10^{-4} .

Identificación del código de fatiga de la mezcla

Debido a que el punto de confluencia entre el *Stiffness* de la mezcla (3.3×10^9 N/m²) y la deformación por tracción ϵ_T (2.9×10^{-4}) está más cercano al valor de N (7.06×10^5) en la gráfica de F1 (ver figuras 37 y 38 en Anexos), se determina que el código de fatiga de la mezcla es F1.

Identificación del código total de la mezcla

Debido a que el resultado del ensayo de penetración para una temperatura de 24 °C fue de 52 (1/10 mm), se adopta un valor de 50 para el tipo de asfalto, ya que está más próximo al del ensayo. Teniendo en cuenta este valor y los

códigos de rigidez y fatiga de la mezcla, hallados anteriormente, se tiene que el código total de la mezcla es S1-F1-50.

Para escoger las gráficas de diseño adecuadas, se deben tener en cuenta 4 parámetros:

- Clima considerado por la w-MAAT, (24 °C).
- Módulo de elasticidad de la subrasante, $2.8 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.
- Código de la mezcla, S1F1-50.
- Tránsito, 7.06×10^5 ejes equivalentes.

Para el presente caso, se necesitará hacer interpolaciones con el fin de poder hallar las dimensiones de la estructura del pavimento con los parámetros descritos anteriormente.

Las cartas NH 17 y HN 25 con código de mezcla S1-F1-50, y MR 2.5×10^7 servirán de ayuda para interpolar las dimensiones de la estructura del pavimento, según sus respectivos w-MMAT de 20°C y 28°C. Posteriormente se interpolarán las dimensiones del pavimento con respecto a la variación de los módulos resilientes entre 2.5×10^7 y 5.0×10^7 . Los valores a analizar con los MR de 5.0×10^7 están contenidos en las cartas HN49 y HN57.

Se toman de las cartas HN17, HN25, HN49 y HN57 los valores de las dimensiones de la capa de asfalto y cuatro capas granulares para un Número de ejes equivalentes de 7.06×10^5 .

De este modo se obtienen las siguientes estructuras según las condiciones:

Para la carta HN17 (ver figura 40 en Anexos):

- Módulo de la subrasante: $2.5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.
- w-MMAT: 20°C
- $N = 7.06 \times 10^5$ ejes equivalentes

Espesor concreto asfáltico: 90 mm

Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 128 mm

Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 89 mm

Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 83 mm

Espesor capa granular (CBR $\geq 10\%$): 167 mm

Para la carta HN25 (ver figura 41 en Anexos):

- Módulo de la subrasante: $2.5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.
- w-MMAT: 28°C
- $N = 7.06 \times 10^5$ ejes equivalentes

Espesor concreto asfáltico: 83 mm

Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 172 mm
Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 89 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 86 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 10\%$): 175 mm

Interpolación de temperaturas para 24 °C:

Espesor concreto asfáltico: 86.5 mm
Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 150 mm
Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 89 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 84.5 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 10\%$): 171 mm

Para la carta HN49 (ver figura 42 en Anexos):

- Módulo de la subrasante: 5.0×10^7 N/m².
- w-MMAT: 20°C
- $N = 7.06 \times 10^5$ ejes equivalentes

Espesor concreto asfáltico: 50 mm
Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 117 mm
Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 74 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 159 mm

Para la carta HN57 (ver figura 43 en Anexos):

- Módulo de la subrasante: 5.0×10^7 N/m².
- w-MMAT: 28°C
- $N = 7.06 \times 10^5$ ejes equivalentes

Espesor concreto asfáltico: 50 mm
Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 125 mm
Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 78 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 167 mm

Interpolación de temperaturas para 24 °C:

Espesor concreto asfáltico: 50 mm
Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 121 mm
Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 76 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 163 mm

Interpolación final para un CBR de 2.8% y 24 °C:

Espesor concreto asfáltico: 82.12 mm
Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 146.52 mm
Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 87.44 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 93.92 mm

Espesor capa granular (CBR $\geq$ 10%): 150.48 mm

Para el sector K4-K5 se realizó el mismo procedimiento de diseño, sin embargo, debido a que la diferencia de volumen de tránsito no es tan grande, los espesores del pavimento son prácticamente iguales (ver figuras 44, 45, 46 y 47 en Anexos). Los resultados del diseño son los siguientes:

Espesor concreto asfáltico: 82.12 mm

Espesor base (CBR $\geq$ 80%): 144.58 mm

Espesor subbase (CBR $\geq$ 40%): 85.18 mm

Espesor capa granular (CBR $\geq$ 20%): 95.12 mm

Espesor capa granular (CBR $\geq$ 10%): 148.72 mm

Debido a que los espesores del sector K4-K5, son prácticamente iguales a los del sector K0-K4, solo se tendrán en cuenta los diseños para este último sector.

Según criterios propios de la región la estructura debe cumplir las siguientes proporciones en sus espesores: 1: 2: 2.7, carpeta: base: subbase respectivamente.

Cumpliendo con este criterio, la estructura del pavimento queda así:

Espesor concreto asfáltico: 100 mm

Espesor base (CBR $\geq$ 80%): 200 mm

Espesor subbase (CBR $\geq$ 40%): 227 mm

Espesor capa granular (CBR $\geq$ 20%): 93.92 mm

Espesor capa granular (CBR $\geq$ 10%): 150.48 mm

10.2. Alternativa 2. Pavimento flexible (n = 20 años)

Para el diseño de esta estructura de pavimento, también se utilizará el método Shell.

10.2.1. Cálculo de los parámetros de diseño sector K0+000 – K4+000

Determinación del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y durante el período de diseño (N)

$$N = 894 \times \frac{27}{100} \times \frac{50}{100} \times 365 \times \frac{(1 + 0.03)^{20} - 1}{\ln(1 + 0.03)} \times 1.35 = 1.65 \times 10^6$$

Los valores de temperatura; propiedades de la subrasante, subbase y base; T_{800} , IP, *Stiffness* del asfalto a la temperatura de trabajo en obra y *Stiffness* de la mezcla asfáltica son los mismos hallados para el diseño anterior.

Identificación del código de rigidez de la mezcla (Tipo S1 o S2)

Debido a que el punto de confluencia del *Stiffness* del asfalto ($2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$) y de la mezcla ($3.3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$) se halla más cerca a la curva S1 del gráfico M-I (ver figura 35 en Anexos), se determina que el código de la mezcla es S1.

Determinación de la deformación máxima admisible específica de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas

Con los valores de *Stiffness* de la mezcla ($3.3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$), volumen del asfalto (12%) y N (1.65×10^6), se entra al nomograma de fatiga para determinación ϵ_{FAT} de la mezcla (ver figura 36 en Anexos) y se obtiene un valor de ϵ_T igual a 1.9×10^{-4} .

Identificación del código de fatiga de la mezcla

Debido a que el punto de confluencia entre el *Stiffness* de la mezcla ($3.3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$) y la deformación por tracción ϵ_T (1.9×10^{-4}) está más cercano al valor de N (1.65×10^6) en la gráfica de F1 (ver figuras 37 y 38 en Anexos), se determina que el código de fatiga de la mezcla es F1.

Identificación del código total de la mezcla

Debido a que el resultado del ensayo de penetración para una temperatura de 24°C fue de 52 (1/10 mm), se adopta un valor de 50 para el tipo de asfalto, ya que está más próximo al del ensayo. Teniendo en cuenta este valor y los códigos de rigidez y fatiga de la mezcla, hallados anteriormente, se tiene que el código total de la mezcla es S1-F1-50.

Para escoger las gráficas de diseño adecuadas, se deben tener en cuenta 4 parámetros:

- Clima considerado por la w-MAAT, (24°C).
- Módulo de elasticidad de la subrasante, $2.8 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.
- Código de la mezcla, S1F1-50.
- Tránsito, 1.65×10^6 ejes equivalentes.

Para el presente caso, se necesitará hacer interpolaciones con el fin de poder hallar las dimensiones de la estructura del pavimento con los parámetros descritos anteriormente; al igual que para el diseño anterior, se utilizarán las cartas HN 17, HN 25, HN 49 y HN 57.

De este modo se obtienen las siguientes estructuras según las condiciones:

Para la carta HN17 (ver figura 48 en Anexos):

- Módulo de la subrasante: $2.5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.

- w-MMAT: 20°C
- $N = 1.65 \times 10^6$ ejes equivalentes

Espesor concreto asfáltico: 117 mm
 Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 150 mm
 Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 95 mm
 Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 89 mm
 Espesor capa granular (CBR $\geq 10\%$): 166 mm

Para la carta HN25 (ver figura 49 en Anexos):

- Módulo de la subrasante: 2.5×10^7 N/m².
- w-MMAT: 28°C
- $N = 1.65 \times 10^6$ ejes equivalentes

Espesor concreto asfáltico: 106 mm
 Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 211 mm
 Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 99 mm
 Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 90 mm
 Espesor capa granular (CBR $\geq 10\%$): 183 mm

Interpolación de temperaturas para 24 °C:

Espesor concreto asfáltico: 111.5 mm
 Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 180.5 mm
 Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 97 mm
 Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 89.5 mm
 Espesor capa granular (CBR $\geq 10\%$): 174.5 mm

Para la carta HN49 (ver figura 50 en Anexos):

- Módulo de la subrasante: 5.0×10^7 N/m².
- w-MMAT: 20°C
- $N = 1.65 \times 10^6$ ejes equivalentes

Espesor concreto asfáltico: 66 mm
 Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 170 mm
 Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 79 mm
 Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 161 mm

Para la carta HN57 (ver figura 51 en Anexos):

- Módulo de la subrasante: 5.0×10^7 N/m².
- w-MMAT: 28°C
- $N = 1.65 \times 10^6$ ejes equivalentes

Espesor concreto asfáltico: 61 mm
 Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 180 mm

Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 88 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 172 mm

Interpolación de temperaturas para 24 °C:

Espesor concreto asfáltico: 63.5 mm
Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 175 mm
Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 83.5 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 166.5 mm

Interpolación final para un CBR de 2.8% y 24 °C:

Espesor concreto asfáltico: 105.74 mm
Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 179.84 mm
Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 95.38 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 98.74 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 10\%$): 153.56 mm

Para el sector K4-K5, se realizó el mismo procedimiento de diseño (ver figuras 52, 53, 54 y 55 en Anexos), obteniéndose los siguientes resultados.

Espesor concreto asfáltico: 105.74 mm
Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 180.4 mm
Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 93.38 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 98.8 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 10\%$): 153.56 mm

Debido a que los espesores del sector K4-K5, son prácticamente iguales a los del sector K0-K4, solo se tendrán en cuenta los diseños para este último sector.

Según criterios propios de la región la estructura debe cumplir las siguientes proporciones en sus espesores: 1: 2: 2.7, carpeta: base: subbase respectivamente

Cumpliendo con este criterio, la estructura del pavimento queda así:

Espesor concreto asfáltico: 110 mm
Espesor base (CBR $\geq 80\%$): 220 mm
Espesor subbase (CBR $\geq 40\%$): 297 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 20\%$): 98.74 mm
Espesor capa granular (CBR $\geq 10\%$): 153.56 mm

10.3. Alternativa 3. Pavimento rígido (n = 20 años)

El método de la Portland Cement Association (PCA) regirá el diseño de los espesores del pavimento rígido de este proyecto.

Los procedimientos de diseño que brinda la PCA, tienen en cuenta algunas condiciones que antes no se habían cubierto por algún método, incluyen el reconocimiento de:

- El grado de transferencia de carga proporcionado en las juntas transversales, por los diferentes tipos de pavimentos.
- El efecto de usar bermas de concreto, adyacentes al pavimento, las cuales reducen los esfuerzos de flexión y las deflexiones producidas por las cargas de los vehículos.
- El efecto de usar una subbase de concreto pobre, la cual reduce los esfuerzos y las deflexiones, proporciona un soporte considerable cuando los camiones pasan sobre las juntas y además proporciona resistencia a la erosión que se produce en la subbase a causa de las deflexiones repetidas del pavimento.

Criterios de diseño:

- a) Fatiga, para proteger al pavimento contra la acción de los esfuerzos producidos por la acción repetida de las cargas.
- b) Erosión, para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes de las losas, juntas y esquinas, y controlar así la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas.

La elección de un espesor adecuado de diseño por este método depende, consecuentemente, de la elección de factores adicionales a los tradicionalmente utilizados, como el sistema de juntas y el tipo de bermas.

Factores de diseño

Luego de elegir el tipo de pavimento por construir, el tipo de subbase y el tipo de berma, el diseño se realiza a partir de los cuatro factores siguientes:

- Resistencia a la flexión del concreto (Módulo de rotura, MR).
- Resistencia de la subrasante o del conjunto subrasante subbase (K)
- Los tipos, frecuencias y magnitudes de las cargas por eje esperadas.
- El período de diseño, que usualmente se toma como 20 años, pudiendo ser mayor o menor.

Debido a que en este proyecto no se cuenta con información sobre la distribución de cargas por eje a partir de pesajes en básculas, se usará el “Procedimiento simplificado de diseño para el caso en que no se disponga de datos sobre distribución de cargas por eje”. Para este caso, la PCA ha preparado unas tablas de diseño, basadas en distribuciones de carga por eje representativas de las diversas calles y carreteras que muestra la siguiente figura:

Tabla 10.1. Categorías de carga por eje (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición Bogotá)

Categorías de carga por eje	Descripción	Tránsito			Máximas cargas por eje (KN)	
		TPD	TPDC		Ejes simples *	Ejes tandem
			%	Diario		
1	- Calles residenciales, carreteras rurales y secundarias (bajo a medio).	200 - 800	1 - 3	hasta 25	98	160
2	- Calles colectoras, carreteras rurales y secundarias (alto). - Calles, arterias y carreteras primarias (bajo).	700 - 5000	5 - 18	40 - 1000	115	195
3	- Calles arterias, y carreteras primarias (medio). - Vías expresas y autopistas urbanas e interestatales (bajo a medio).	3000 - 12000 (2 carriles) 3000 - 50000+ (4 carriles o más)	8 - 30	500 - 5000+	133	230
4	- Calles arterias, carreteras primarias y vías expresas (alto). - Autopistas urbanas e interestatales (medio a alto).	3000 - 20000 (2 carriles) 3000 - 150000 (4 carriles o más)	8 - 30	1500 - 8000+	151	267

* Los términos bajo, medio y alto se refieren a los pesos relativos de las cargas por eje, para el tipo de calle o carretera considerada; esto es, "bajo" para una autopista interestatal puede representar cargas mucho más pesadas en una carretera secundaria.

En este caso el diseñador no emplea directamente los datos de carga por eje, por cuanto los diseños han sido resueltos previamente por la PCA. Por conveniencia los resultados se resumen en tablas de diseño (ver tablas), las cuales corresponden a las cuatro categorías de tránsito indicadas en la tabla anterior.

Los pasos a seguir en el diseño son los siguientes:

- 1) Estimar el TPD-C (tránsito promedio diario de vehículos comerciales en dos direcciones) deben excluirse todos los camiones de dos ejes y cuatro llantas.
- 2) Elegir la categoría de carga por eje (tabla 9.1)
- 3) Determinar el espesor necesario de losas en la tabla apropiada.

Características del método simplificado

Módulo de rotura del concreto: El concreto utilizado debe ser de buena calidad con resistencias a la flexión dentro del rango de 4.1 a 4.4 Mpa.

En este proyecto se trabajará con un módulo de rotura de 4.1 Mpa

Resistencia de la subrasante y la subbase: La resistencia de la subrasante se mide en términos del módulo de reacción (K), determinado por pruebas de placa directa. Teniendo en cuenta que estas pruebas son complejas y

costosas, el valor K se estima generalmente por correlación con pruebas más sencillas como el CBR.

En este proyecto se halló un K de 28.6 Mpa/m, con este valor se entra a la tabla 9.2 y se determina que corresponde a un soporte bajo.

Tabla 10.2. Tipos de suelos de subrasante y valores aproximados de k

Tipos de suelos de subrasante y valores aproximados de k		
Tipo de suelo	Soporte	Rango de valores k (Mpa/m)
Suelos de grano fino, en los que predominan partículas del tamaño del limo y la arcilla	Bajo	20 - 34
Arenas y mezclas de grava y arena con cantidades moderadas de limo y arcilla	Medio	35 - 49
Arenas y mezclas de grava y arena relativamente libres de finos plásticos	Alto	50 - 60
Subbases tratadas con cemento	Muy alto	70 - 110

Periodo de diseño: Los valores de TPD-C que presentan las tablas de diseño se refieren a un periodo de diseño de 20 años. Este proyecto tiene un periodo de diseño de 20 años.

Tipo de juntas: Las tablas de diseño se dividen en dos partes: las que presentan resultados para juntas con pasadores y por trabazón de agregados. Para este proyecto se usarán juntas con pasadores.

Determinación del TPD-C: Un método para obtener el dato necesario de tránsito para el diseño, consiste en el empleo de tasas de crecimiento anual y factores de proyección, la tabla 9.3 muestra las relaciones entre las tasas anuales de crecimiento y los factores de proyección para periodos de 20 y 40 años, de acuerdo con las recomendaciones de la PCA. En un caso de diseño, el factor de proyección se multiplica por el TPD presente para obtener el TPD de diseño representativo del valor promedio para el periodo de diseño.

Tabla 10.3. Tasas anuales de crecimiento de tránsito (r) y sus correspondientes factores de proyección

Tasas anuales de crecimiento de tránsito (r) y sus correspondientes factores de proyección		
Tasa de crecimiento anual de tránsito %	Factores de Proyección	
	20 años	40 años
1	1,1	1,2
1,5	1,2	1,3
2	1,2	1,5
2,5	1,3	1,6
3	1,3	1,8
3,5	1,4	2,0
4	1,5	2,2
4,5	1,6	2,4
5	1,6	2,7
5,5	1,7	2,9
6	1,8	3,2

Para este proyecto se uso una tasa de crecimiento anual de transito del 3%, por lo que el TPD-C de diseño sería:

$$TPD - C = 239 \times 1.3 = 310 \text{ vehículos comerciales}$$

Elección de la categoría de carga por eje: Debido a que se espera que las magnitudes de carga por eje sean similares a las promedio que circulan por vías, se considera adecuado elegir la categoría 2 de la tabla 9.1.

Determinación del espesor necesario de las losas: De acuerdo a la categoría de carga por eje (2), el módulo de rotura del concreto (4.1 Mpa), el soporte subrasante (Bajo) y teniendo en cuenta que el pavimento no contara con bermas y que las juntas tendrán pasadores, la tabla que deberá usarse en el diseño es la tabla 9 (ver figura en Anexos).

En la tabla se puede observar que para el tránsito de diseño de 310 vehiculos comerciales, el espesor adecuado es de 200 mm, que considera un TPD-C admisible de 330 vehículos.

Para esta alternativa se usará una base de material granular tipo INVIAS de 20 cm.

Pasadores de carga: Siguiendo las recomendaciones para la selección de pasadores de carga, dadas en la tabla 9.4, se seleccionan pasadores con un diámetro de 1 in, longitud de 350 mm y una separación entre centros de 300 mm.

Tabla 10.4. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición Bogotá)

Espesor del pavimento	Diametro del pasador		Longitud total	Separación entre centros
(mm)	(mm)	(pulg.)	(mm)	(mm)
0-100	13	1/2	250	300
110-130	16	5/8	300	300
140-150	19	3/4	350	300
160-180	22	7/8	350	300
190-200	25	1	350	300
210-230	29	1 1/8	400	300
240-250	32	1 1/4	450	300
260-280	35	1 3/8	450	300
290-300	38	1 1/2	500	300

Barras de anclaje: Siguiendo las recomendaciones contenidas en la tabla 9.5 para la selección de barras de anclaje, se seleccionan barras con diámetros de ½ in, longitud de 60 cm y una separación entre barras de 105 cm.

Tabla 10.5. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición Bogotá)

Tabla 6.22												
Recomendaciones para la selección de las barras de anclaje												
Espesor de losa (cm)	Barras de $\phi 9,5$ m.m. (3/8")				Barras de $\phi 12,7$ m.m. (1/2")				Barras de $\phi 15,9$ m.m. (5/8")			
	Longitud (cm)	Separación entre barras según carril (cm)			Longitud (cm)	Separación entre barras según carril (cm)			Longitud (cm)	Separación entre barras según carril (cm)		
		3,05 m	3,35 m	3,65 m		3,05 m	3,35 m	3,65 m		3,05 m	3,35 m	3,65 m
Acero de $f_y = 1.875 \text{ kgf/cm}^2$ (40.000 Psi)												
15		80	75	65		120	120	120		120	120	120
17,5		70	60	55		120	110	100		120	120	120
20	45	60	55	50	60	105	100	90	70	120	120	120
22,5		55	50	45		55	85	80		120	120	120
25		45	45	40		85	80	70		120	120	120
Acero de $f_y = 2.800 \text{ kgf/cm}^2$ (60.000 Psi)												
15		120	110	100		120	120	120		120	120	120
17,5		105	95	85		120	120	120		120	120	120
20	65	90	80	75	85	120	120	120	100	120	120	120
22,5		80	75	65		120	120	120		120	120	120
25		70	65	60		120	115	110		120	120	120
Nota: Cuando se empleen barras de acero liso, las longitudes dadas en la Tabla se multiplicarán por 1,5.												

Con el fin de que las losas cumplan con una relación ancho-espesor menor o igual a 1.5, y teniendo en cuenta que el ancho de los carriles es de 3m, se tiene que la longitud de las losas debe ser de 4.5 m.

$$L/B = \frac{4.5}{3} = 1.5$$

Resumen alternativas:

Tabla 10.6. Resumen de alternativas de rehabilitación

Alternativa	Método de diseño usado	Espesor capa de rodadura (cm)	Espesores de diseño		
			Espesor base (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor material granular (cm)
Rehabilitación con carpeta asfáltica sobre material de relleno para un período de 10 años.	SHELL	8.5	15	9	24
Rehabilitación con carpeta asfáltica sobre material de relleno para un período de 20 años.	SHELL	10.5	18	9.5	25
Rehabilitación con losas de concreto hidráulico sobre material de relleno para un período de 20 años	PCA	20	20		

Se deben respetar los espesores mínimos especificados en las normas particulares de Jamundí. A manera de ejemplo se escogen las de Cali:

Tabla 10.7 Resumen de alternativas de rehabilitación teniendo en cuenta los espesores mínimos requeridos para la ciudad de Cali

Alternativa	Método de diseño usado	Espesor capa de rodadura (cm)	Espesor base (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor material granular (cm)
Rehabilitación con carpeta asfáltica sobre material de relleno para un período de 10 años.	SHELL	10	20	27	24
Rehabilitación con carpeta asfáltica sobre material de relleno para un período de 20 años.	SHELL	11	22	30	25
Rehabilitación con losas de concreto hidráulico sobre material de relleno para un período de 20 años	PCA	20	20		

11. PRESUPUESTO INICIAL PARA LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN

A continuación se muestra el presupuesto inicial necesario para cada una de las alternativas de rehabilitación.

Este presupuesto se ejecuta respecto a los precios unitarios actuales de la Gobernación del Valle del Cauca. DECRETO # 0533 DE 20 DE JUNIO 2011

Tabla 11.1. Presupuesto alternativa 1

PAVIMENTO FLEXIBLE. PERIODO DE DISEÑO 10 AÑOS N = 7,06 X 10 ⁵						
Ítem	Descripción	Espesor (m)	Precio unitario	Unidad	Total unidades a intervenir	Valor total (pesos)
1	Demolición pavimento concreto y retiro esp. 0,2 m	0.17	\$ 18,850	m ²	30000	\$ 565500,000
2	Relleno (del sitio)	0.3	\$ -	m ³	9000	\$ -
3	Conformación y compactación (relleno del sitio)		\$ 2,560	m ²	30000	\$ 76800,000
4	Subbase compactada material seleccionado 10K (invias)	0.27	\$ 65,070	m ³	8100	\$ 527067,000
5	Base compactada material triturado granular 10K (invias)	0.2	\$ 69,590	m ³	6000	\$ 417540,000
6	Imprimación MC - 70		\$ 1,440	m ²	30000	\$ 43200,000
7	Carpeta asfáltica	0.1	\$ 366,900	m ³	3000	\$ 1100700,000
8	Línea de demarcación continua (ancho 10 cm)		\$ 1,780	m	15000	\$ 26700,000
VALOR TOTAL						\$ 2757507,000

Tabla 11.2. Presupuesto alternativa 2.

PAVIMENTO FLEXIBLE. PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS N = 1,65 X 10⁶						
Ítem	Descripción	Espesor (m)	precio unitario	Unidad	Total unidades a intervenir	Valor total (pesos)
1	Demolición pavimento concreto y retiro esp. 0,2 m	0.17	\$ 18,850	m ²	30000	\$ 565500,000
2	Relleno (del sitio)	0.3	\$ -	m ³	9000	\$ -
3	Conformación y compactación (relleno del sitio)		\$ 2,560	m ²	30000	\$ 76800,000
4	Subbase compactada material seleccionado 10K (invias)	0.3	\$ 65,070	m ³	9000	\$ 585630,000
5	Base compactada material triturado granular 10K (invias)	0.22	\$ 69,590	m ³	6600	\$ 459294,000
6	Imprimación MC - 70		\$ 1,440	m ²	30000	\$ 43200,000
7	Carpeta asfáltica	0.11	\$ 366,900	m ³	3300	\$ 1210770,000
8	Línea de demarcación continua (ancho 10 cm)		\$ 1,780	m	15000	\$ 26700,000
VALOR TOTAL						\$ 2967894,000

Tabla 11.3. Presupuesto alternativa 3.

PAVIMENTO RÍGIDO. PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS N = 1,65 X 10⁶						
Ítem	Descripción	Espesor (m)	precio unitario	Unidad	Total unidades a intervenir	Valor total (pesos)
1	Demolición pavimento concreto y retiro esp. 0,2 m	0.17	\$ 18,850	m ²	30000	\$ 565500,000
2	Relleno (del sitio)	0.3	\$ -	m ³	9000	\$ -
3	Conformación y compactación (relleno del sitio)		\$ 2,560	m ²	30000	\$ 76800,000
4	Base compactada material triturado granular 10K (invias)	0.2	\$ 69,590	m ³	6000	\$ 417540,000
5	Losa en concreto hidráulico MR 4,1 Mpa	0.2	\$ 71,450	m ³	30000	\$ 2143500,000
8	Línea de demarcación continua (ancho 10 cm)		\$ 1,780	m	15000	\$ 26700,000
VALOR TOTAL						\$ 3230040,000

Este presupuesto no tiene en cuenta costos por acarreo de materiales ni transporte de equipos.

Observando las tablas anteriores, se puede ver que la opción de pavimento flexible con un periodo de diseño de 10 años, es más económica en aproximadamente un 7% que la alternativa de pavimento flexible para un periodo de diseño de 20 años.

Como se puede observar, la opción más económica para un período de diseño de 20 años, en términos de costos iniciales es la que apunta a un diseño de pavimento flexible, siendo más económica en un 8%; sin embargo se debe tener en cuenta que la estructura de pavimento rígido requiere menos actividades de mantenimiento a lo largo de su vida útil.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con base en la inspección visual realizada, se concluyo que tan solo el 14% de las losas que componen el tramo estudiado se encuentran en estado aceptable, mientras el 86% restante presenta un grado de deterioro muy alto, lo que impide su recuperación; por lo que se concluyó que la mejor alternativa para la rehabilitación del pavimento es el retiro total de las losas.
- La rehabilitación de la vía se puede realizar tanto en pavimento rígido como flexible, teniendo en cuenta los diseños citados anteriormente (capítulo 10.)
- La mejor alternativa de rehabilitación será aquella que se ajuste a la inversión en capital que destine la Gobernación del Valle del Cauca para tal fin.
- En caso de que la inversión no se vea limitada, la alternativa a recomendar será la alternativa tres (pavimento rígido), que implicaría una inversión inicial más alta, pero con periodos de intervención para rehabilitación mucho mas espaciados a través del tiempo que las alternativas uno y dos.
- El deficiente sistema de drenaje que presenta esta carretera ha sido un factor determinante en el deterioro de la misma.
- Se debe realizar un estudio detallado del manejo de aguas superficiales y subsuperficiales (nivel freático, infiltración, etc.), de tal manera que determine las obras complementarias necesarias para poner fin al problema que generan estas en la actualidad.
- Se debe realizar un control a los vehículos comerciales, especialmente los de carga, con el fin de evitar que excedan los límites permitidos por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte, evitando así el deterioro acelerado de la nueva estructura de pavimento.
- Se recomienda la construcción de bermas de 1.50 m de ancho.
- Se recomienda durante el proceso de construcción regirse a las especificaciones generales de construcción de pavimentos del Instituto Nacional de Vías.

13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Juan Gallego Medina. Rehabilitación de pavimentos rígidos con betún de alto contenido de caucho. Ejemplos en una autopista española [en línea]. <<http://www.recipav.pt/imagens/aumar.pdf>> [Consulta: 18 de Abril de 2011].
- [2] Claudio Herrera. Rehabilitación de pavimentos mediante recubrimientos delgados de adoquines de hormigón [en línea]. <<http://es.scribd.com/doc/39149584/Rehanilitacion-de-pavimentos-adoquines-de-hormigon>> [Consulta: 22 de Abril de 2011].
- [3] Thenoux, G., & González, M. (2009). Rehabilitación de pavimentos de hormigón empleando la técnica de trituración/fracturación (rubblizing). Evaluación capacidad estructural. *Materiales de Construcción*, 59(293): 7-19 doi: 10.3989/mc.2009.36706.
- [4] Dar-Hao Chen; Qinlong Huang, Jianming Ling. Shanghai's Experience on Utilizing the Rubblization for Jointed Concrete Pavement Rehabilitation. Journal of performance of constructed facilities. doi: 10.1061/(ASCE)0887-3828(2008)22:6(398).
- [5] ELTIEMPO.COM. Construirán siete puentes y cinco viaductos en la vía del Cusiana, entre Sogamoso y Aguazul [en línea]. <http://ads.casaeditorialeltiempo.com/colombia/boyaca/construiran-siete-puentes-y-cinco-viaductos-en-la-via-del-cusiana-entre-sogamoso-y-aquazul_4827612-1>
- [6] Instituto de Desarrollo Urbano IDU. Se inician dos nuevos frentes de obra para reparación de losas en la autonorte [en línea]. <http://app.idu.gov.co/mail_notis/mail_notis_2010_03_01.htm>
- [7] Instituto de Desarrollo Urbano IDU. IDU inicia reparación de losas en la Caracas con calle 34 [en línea]. <http://app.idu.gov.co/mail_notis/mail_notis_2010_04_28.htm>
- [8] Alfonso Montejo Fonseca. Ingeniería de pavimentos para carreteras. 2 ed. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2001. P 1. ISBN 958-96036-2-9.
- [9] Fernando Sánchez Sabogal. Introducción al diseño de pavimentos. Módulo 1 [en línea]. <http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%201.pdf> [Consulta: 21 de Abril de 2011].

[10] Alfonso Montejo Fonseca. Ingeniería de pavimentos para carreteras. 2 ed. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2001. P 5. ISBN 958-96036-2-9.

[11] Luis F. Altamirano Kauffmann. Deterioro de pavimentos rígidos. [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/deterioro-pavimentos-rigidos/deterioro-pavimentos-rigidos.pdf>> [Consulta: 18 de Abril de 2011].

[12] Instituto Nacional de Vías INVIAS. Estudio e investigación del estado de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos. [en línea]. <http://www.invias.gov.co/invias/hermesoft/portallG/home_1/recursos/informacion_institucional/documentos/25042008/docu_publicaciones3.pdf>

[13] Fernando Sánchez Sabogal. Introducción al diseño de pavimentos. Módulo 1 [en línea]. <http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%2019.pdf> [Consulta: 21 de Abril de 2011].

[14] Instituto Nacional de Vías INVIAS. Estudio e investigación del estado de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de estructuras de drenaje. [en línea].

ANEXOS

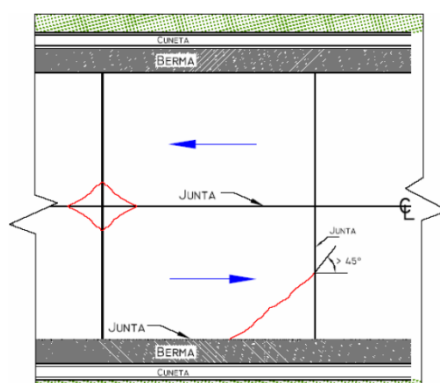


Figura 1. Vista en planta: Grieta de Esquina

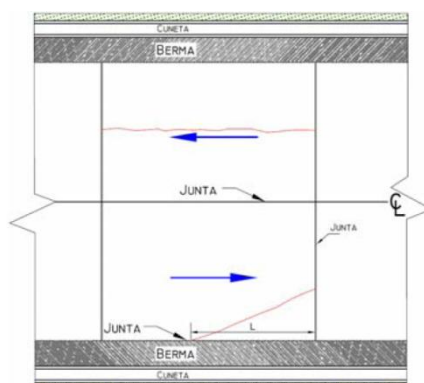


Figura 2. Vista en planta grietas longitudinales

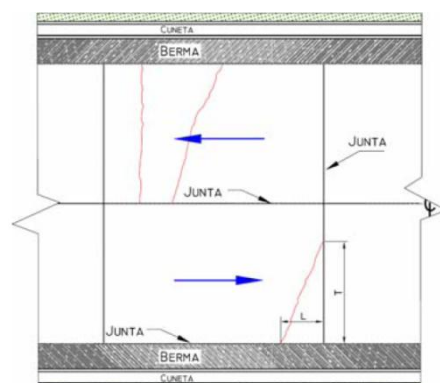


Figura 3. Vista en planta grietas transversales

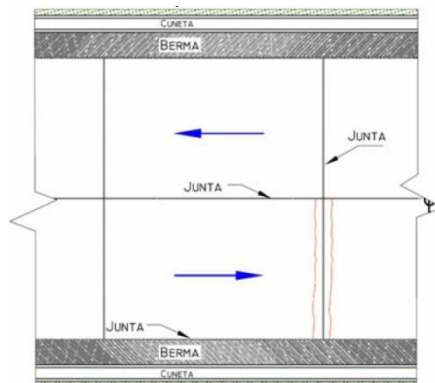


Figura 4. Vista en planta de grietas en los extremos de los pasadores

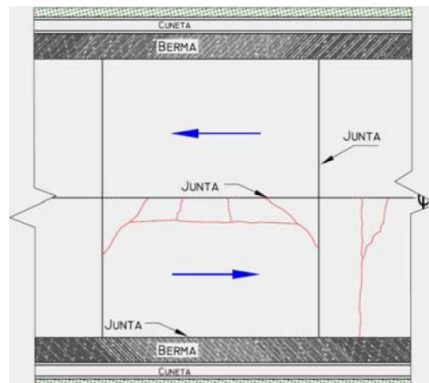


Figura 5. Características de las grietas en bloque

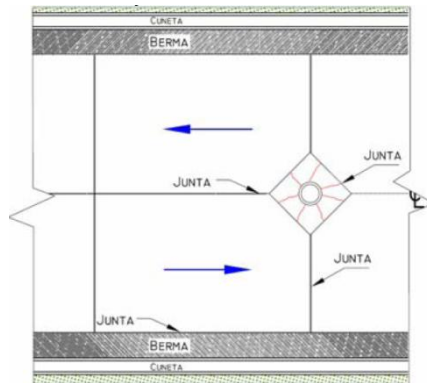


Figura 6. Características de las grietas en pozos de inspección

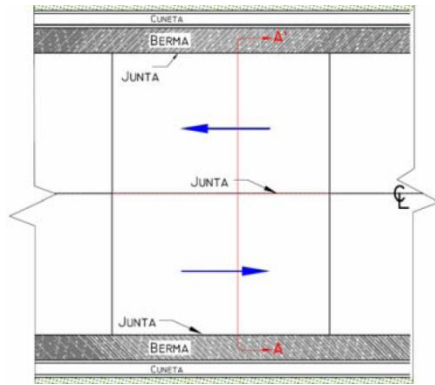


Figura 7^a. Vista en planta. Placas de Pavimento Rígido

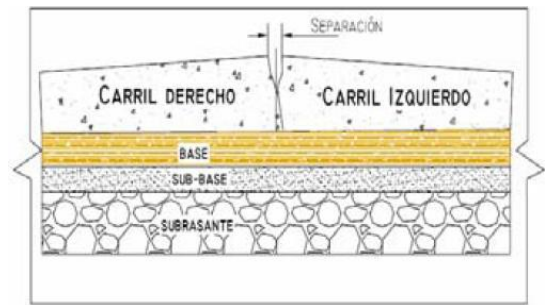


Figura 7^b. Vista en perfil. Detalle Separación de Juntas Longitudinales

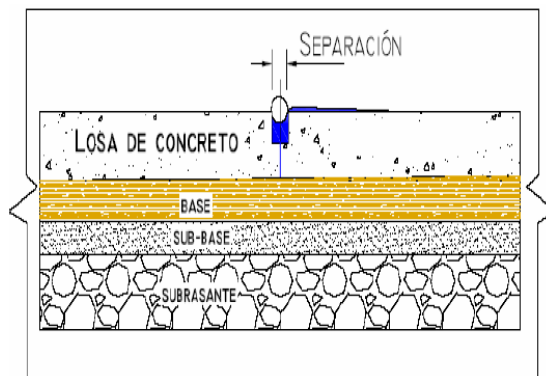


Figura 8^a. Desconfinamiento del sello por pérdida de adherencia y levantamiento de la tirilla de respaldo

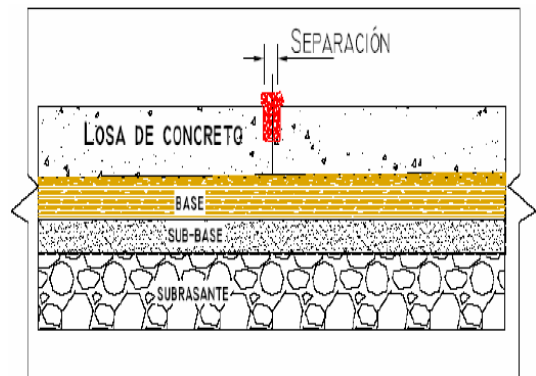


Figura 8^b. Perdida progresiva del sello en ausencia de la tirilla de respaldo

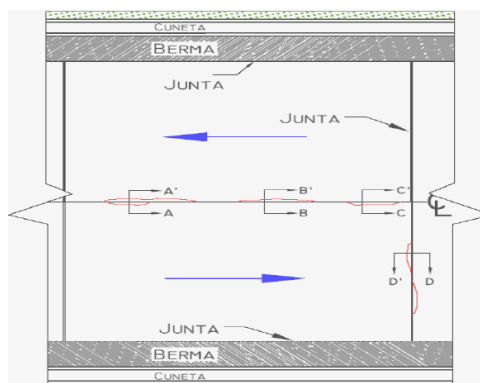


Figura 9^a. Vista en planta: Desportillamiento en juntas

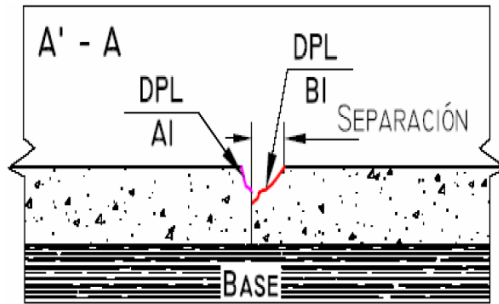


Figura 9^b. Vista en perfil:
Desportillamiento longitudinal
afectando dos losas

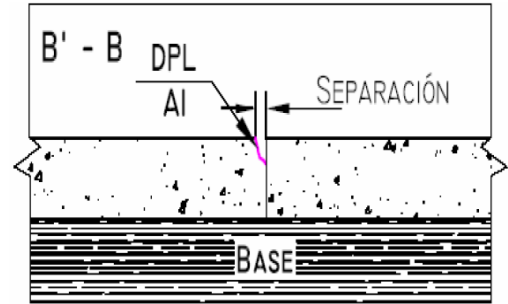


Figura 9^c. Vista en perfil:
Desportillamiento longitudinal de una
losa

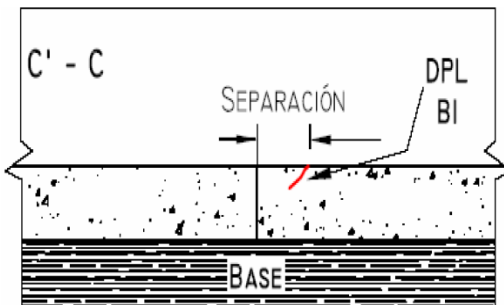


Figura 9^d. Vista en perfil: Inicio del
desprendimiento

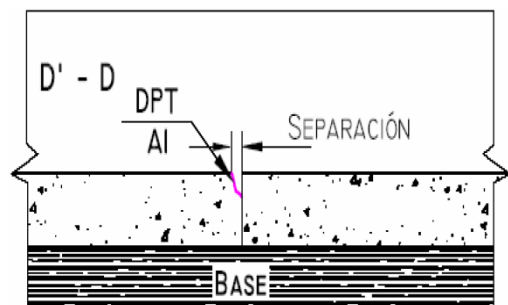


Figura 9^e. Vista en planta:
Desportillamiento transversal

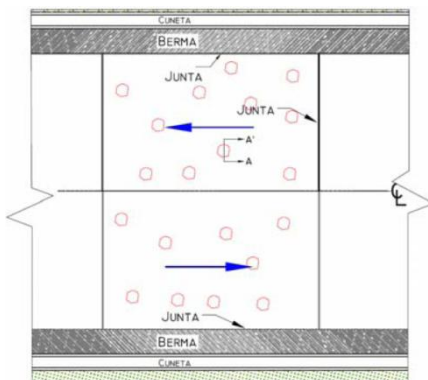


Figura 10^a. Vista en planta: Placas de
Pavimento Rígido

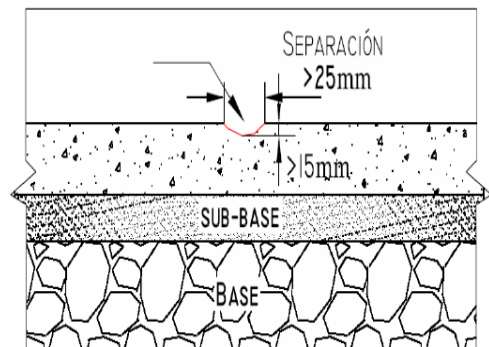


Figura 10^b. Vista en perfil: Detalle de
Descascaramiento

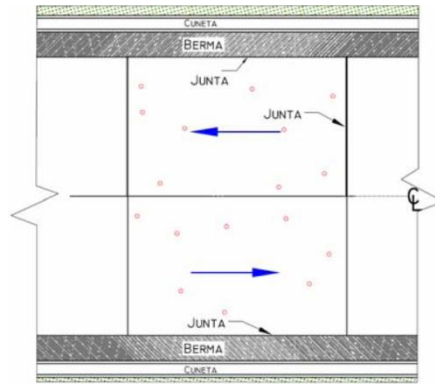


Figura 11. Desintegración



Fotografía 1. Vista típica de una vía con aparición de baches



Fotografía 2. Vista típica de una vía con pulimiento de losas de concreto

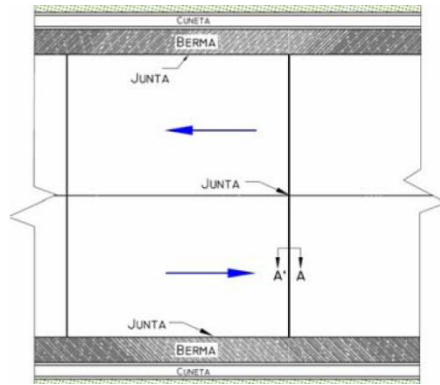


Figura 12ª. Vista en planta:
Escalonamiento Junta Transversal

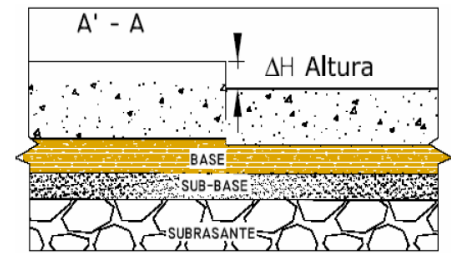


Figura 12ª. Vista en perfil: Detalle
del Escalonamiento

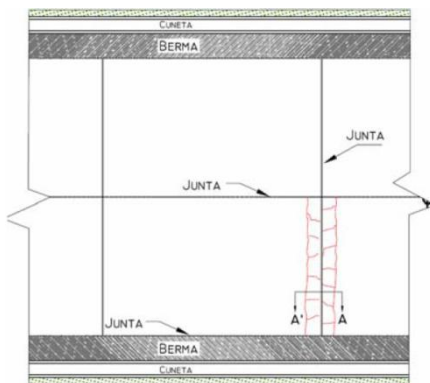


Figura 13ª. Vista en planta:
Levantamiento Junta Transversal

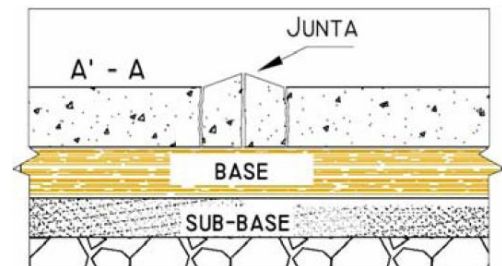
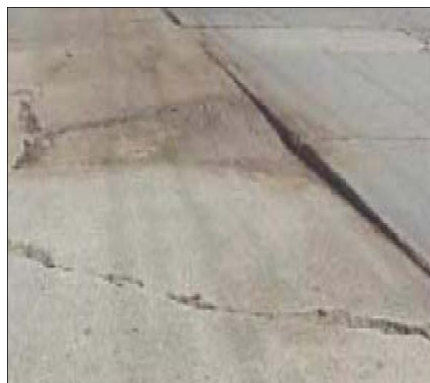


Figura 13ª. Vista en perfil: Detalle del
Levantamiento



Fotografía 3. Parche en concreto



Fotografía 4. Hundimiento de losa y su posterior agrietamiento



Fotografía 5. Fisuración por retracción típica con nivel de severidad bajo



Fotografía 6. Vista típica de fisuras ligeras de aparición temprana

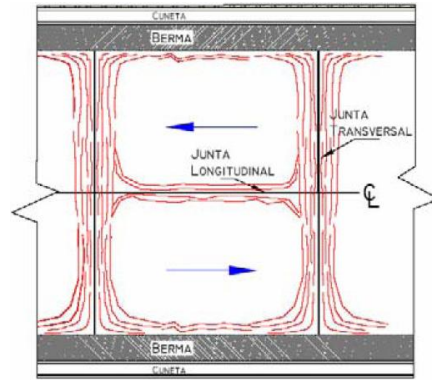


Figura 14. Fisuración por Durabilidad



Fotografía 7. Vista típica de bombeo en juntas

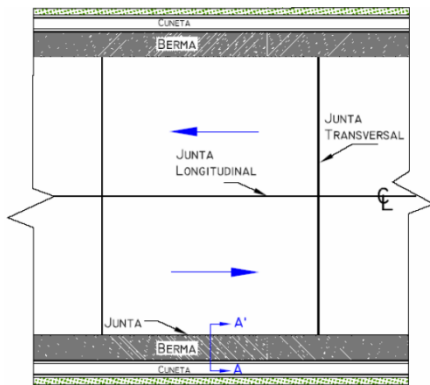


Figura 15^a. Vista en planta:
Descenso de la berma

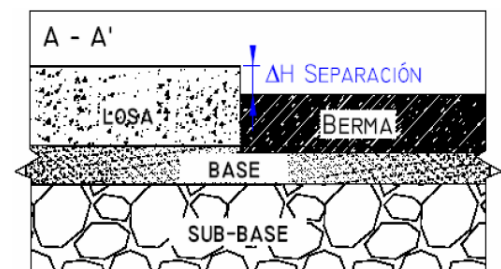


Figura 15^b. Vista en perfil: Detalle

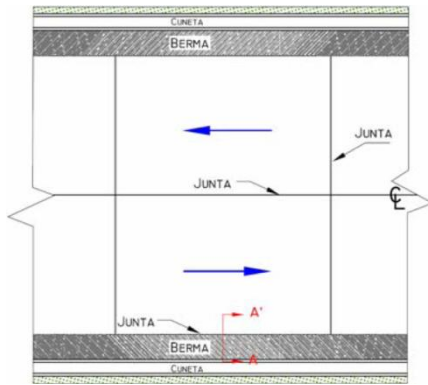


Figura 16^a. Vista en planta:
Descenso de la berma

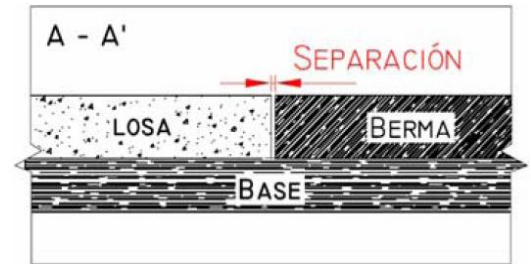


Figura 16^b. Vista en perfil: Detalle

Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto

AUTOS	Automóvil	
	Campero	
	Pick-Up	
	Microbus	
BUSES	Buseta	
	Bus	
	Bus Metropolitano	
C ₂ P	Camión 2 Ejes Pequeño	
C ₂ G	Camión 2 Ejes Grande	
C ₃	Camión C ₃	
	Tractor - Camión C ₂ - S ₁	
C ₄	Camión C ₄	
	Tractor - Camión C ₃ - S ₁	
C ₅	Tractor - Camión C ₂ - S ₂	
	Tractor - Camión C ₃ - S ₂	
> C ₅	Tractor - Camión C ₃ - S ₃	

Figura 17. Clasificación vehicular para conteos manuales.

Tabla 1. Volumen de tránsito para el sector comprendido entre el K0+000 y el K4+000 el día Domingo, 26 de junio

Sector: Río Claro - Cruce Villa Paz											
Fecha: Domingo, 26 de Junio de 2011											
Hora	Vehículos livianos	Buses	Camiones								
			C2		C3 y C4					C5	>C5
			C2-P	C2-G	C3	C2-S1	C4	C3-S1	C2-S2	C3-S2	C3-S3
6:00 - 7:00	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00 - 8:00	29	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00 - 9:00	33	7	1	0	1	0	0	0	0	0	0
9:00 - 10:00	36	8	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10:00 - 11:00	57	7	2	1	1	0	0	0	0	0	0
11:00 - 12:00	61	10	4	2	0	0	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	48	7	1	1	1	0	0	0	0	0	0
13:00 - 14:00	66	10	2	0	1	0	0	0	0	0	0
14:00 - 15:00	62	10	0	1	1	0	0	0	0	0	0
15:00 - 16:00	63	7	3	1	0	0	0	0	0	0	0
16:00 - 17:00	62	9	1	2	1	0	0	0	0	0	0
17:00 - 18:00	76	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	613	92	15	10	6	0	0	0	0	0	0
Transito total	736										

Tabla 2. Volumen de tránsito para el sector comprendido entre el K4+000 y el K5+000 el día Domingo, 26 de junio

Sector: Cruce Villa Paz - Km5											
Fecha: Domingo, 26 de Junio de 2011											
Hora	Vehículos livianos	Buses	Camiones								
			C2		C3 y C4					C5	>C5
			C2-P	C2-G	C3	C2-S1	C4	C3-S1	C2-S2	C3-S2	C3-S3
6:00 - 7:00	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00 - 8:00	24	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00 - 9:00	28	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0
9:00 - 10:00	32	8	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10:00 - 11:00	49	7	1	1	1	0	0	0	0	0	0
11:00 - 12:00	53	9	4	2	0	0	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	43	6	0	1	1	0	0	0	0	0	0
13:00 - 14:00	54	6	2	0	1	0	0	0	0	0	0
14:00 - 15:00	50	8	0	1	1	0	0	0	0	0	0
15:00 - 16:00	45	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0
16:00 - 17:00	45	9	0	2	1	0	0	0	0	0	0
17:00 - 18:00	65	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	504	81	11	10	6	0	0	0	0	0	0
Transito total	612										

Tabla 3. Volumen de tránsito para el sector comprendido entre el K0+000 y el K4+000 el día Miércoles, 29 de junio

Sector: Río Claro - Cruce Villa Paz											
Fecha: Miércoles, 29 de Junio de 2011											
Hora	Vehículos livianos	Buses	Camiones								
			C2		C3 y C4					C5	>C5
			C2-P	C2-G	C3	C2-S1	C4	C3-S1	C2-S2	C3-S2	C3-S3
6:00 - 7:00	14	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00 - 8:00	23	8	5	1	0	0	0	0	0	0	0
8:00 - 9:00	31	5	7	0	1	0	0	0	0	0	0
9:00 - 10:00	35	5	5	3	6	0	0	0	0	1	0
10:00 - 11:00	35	8	8	4	5	0	0	0	0	1	0
11:00 - 12:00	35	8	5	4	1	0	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	39	9	4	6	2	0	0	0	0	0	0
13:00 - 14:00	47	11	6	2	5	0	0	0	0	1	0
14:00 - 15:00	33	7	5	1	1	0	0	0	0	0	0
15:00 - 16:00	32	5	4	2	5	0	0	0	0	1	0
16:00 - 17:00	39	9	5	2	2	0	0	0	0	0	0
17:00 - 18:00	52	11	3	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	415	89	60	26	28	0	0	0	0	4	0
Transito total	622										

Tabla 4. Volumen de tránsito para el sector comprendido entre el K4+000 y el K5+000 el día Miércoles, 29 de junio

Sector: Cruce Villa Paz - Km5											
Fecha: Miércoles, 29 de Junio de 2011											
Hora	Vehículos livianos	Buses	Camiones								
			C2		C3 y C4					C5	>C5
			C2-P	C2-G	C3	C2-S1	C4	C3-S1	C2-S2	C3-S2	C3-S3
6:00 - 7:00	13	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00 - 8:00	17	7	5	1	0	0	0	0	0	0	0
8:00 - 9:00	27	4	7	0	1	0	0	0	0	0	0
9:00 - 10:00	31	5	5	3	6	0	0	0	0	1	0
10:00 - 11:00	30	7	8	4	5	0	0	0	0	1	0
11:00 - 12:00	33	6	4	4	1	0	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	37	8	4	6	2	0	0	0	0	0	0
13:00 - 14:00	41	9	6	2	5	0	0	0	0	1	0
14:00 - 15:00	30	6	4	1	1	0	0	0	0	0	0
15:00 - 16:00	30	6	4	2	5	0	0	0	0	1	0
16:00 - 17:00	36	7	5	1	2	0	0	0	0	0	0
17:00 - 18:00	48	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	373	77	58	25	28	0	0	0	0	4	0
Transito total	565										

Tabla 5. Volumen de tránsito para el sector comprendido entre el K0+000 y el K4+000 el día Viernes, 1 de julio

Sector: Río Claro - Cruce Villa Paz											
Fecha: Viernes, 1 de Julio de 2011											
Hora	Vehículos livianos	Buses	Camiones								
			C2		C3 y C4					C5	>C5
			C2-P	C2-G	C3	C2-S1	C4	C3-S1	C2-S2	C3-S2	C3-S3
6:00 - 7:00	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00 - 8:00	21	5	3	1	1	0	0	0	0	0	0
8:00 - 9:00	26	7	3	3	4	0	0	0	0	1	0
9:00 - 10:00	34	8	4	1	1	0	0	0	0	0	0
10:00 - 11:00	40	9	6	4	7	0	0	0	0	1	0
11:00 - 12:00	36	5	4	2	6	0	0	0	0	1	0
12:00 - 13:00	49	5	6	0	1	0	0	0	0	0	0
13:00 - 14:00	53	11	3	2	0	0	0	0	0	0	0
14:00 - 15:00	40	8	5	2	2	0	0	0	0	0	0
15:00 - 16:00	33	6	2	3	1	0	0	0	0	0	0
16:00 - 17:00	36	10	7	4	1	0	0	0	0	0	0
17:00 - 18:00	62	10	5	0	2	0	0	0	0	0	0
Total	447	94	52	22	26	0	0	0	0	3	0
Transito total	644										

Tabla 6. Volumen de tránsito para el sector comprendido entre el K4+000 y el K5+000 el día Viernes, 1 de julio

Sector: Cruce Villa Paz - Km5											
Fecha: Viernes, 1 de Julio de 2011											
Hora	Vehículos livianos	Buses	Camiones								
			C2		C3 y C4					C5	>C5
			C2-P	C2-G	C3	C2-S1	C4	C3-S1	C2-S2	C3-S2	C3-S3
6:00 - 7:00	14	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00 - 8:00	18	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0
8:00 - 9:00	25	6	2	3	4	0	0	0	0	1	0
9:00 - 10:00	30	6	4	1	1	0	0	0	0	0	0
10:00 - 11:00	34	6	4	4	7	0	0	0	0	1	0
11:00 - 12:00	32	5	4	2	6	0	0	0	0	1	0
12:00 - 13:00	44	5	5	0	1	0	0	0	0	0	0
13:00 - 14:00	46	7	3	2	0	0	0	0	0	0	0
14:00 - 15:00	33	8	5	2	2	0	0	0	0	0	0
15:00 - 16:00	30	4	2	3	1	0	0	0	0	0	0
16:00 - 17:00	32	6	6	3	1	0	0	0	0	0	0
17:00 - 18:00	52	7	5	0	2	0	0	0	0	0	0
Total	390	73	47	21	26	0	0	0	0	3	0
Transito total	560										



Fotografía 8. Detección de acero en la junta mediante equipo de detección magnética



Fotografía 9. Realización de apiques



Fotografía 10. Prueba de granulometría por tamizado

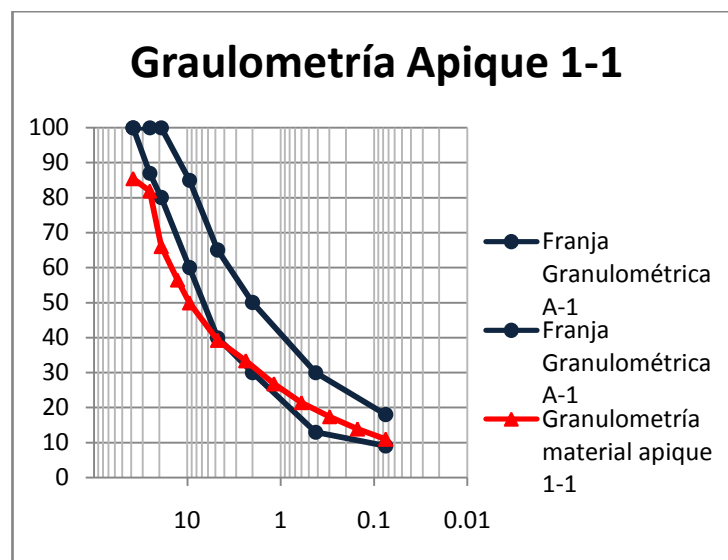


Figura 18. Ajuste de granulometría apique 1-1 a franja granulométrica A-1

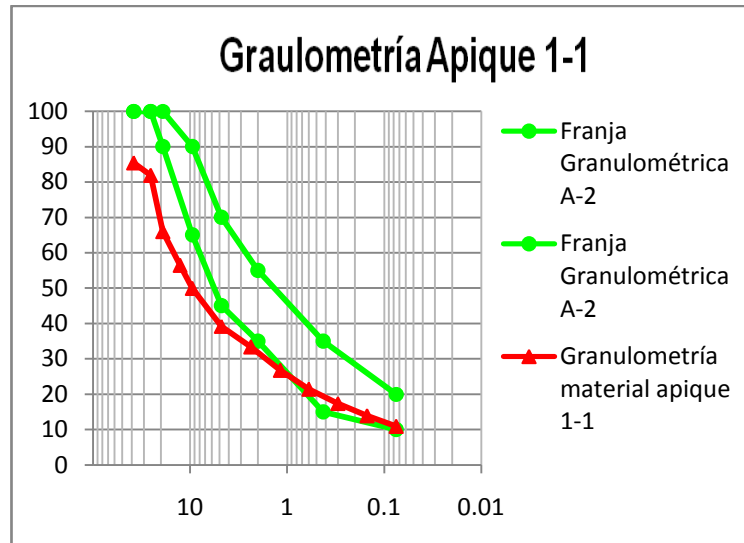


Figura 19. Ajuste de granulometría apique 1-1 a franja granulométrica A-2

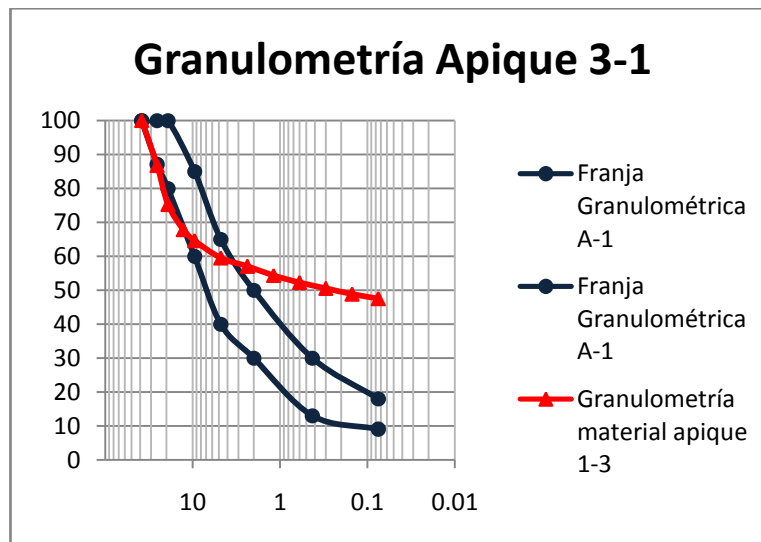


Figura 20. Ajuste de granulometría apique 3-1 a franja granulométrica A-1

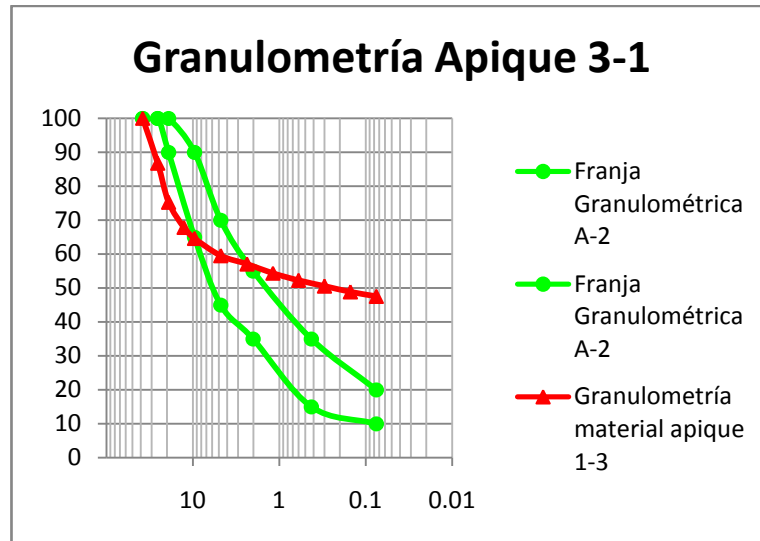


Figura 21. Ajuste de granulometría apique 3-1 a franja granulométrica A-2

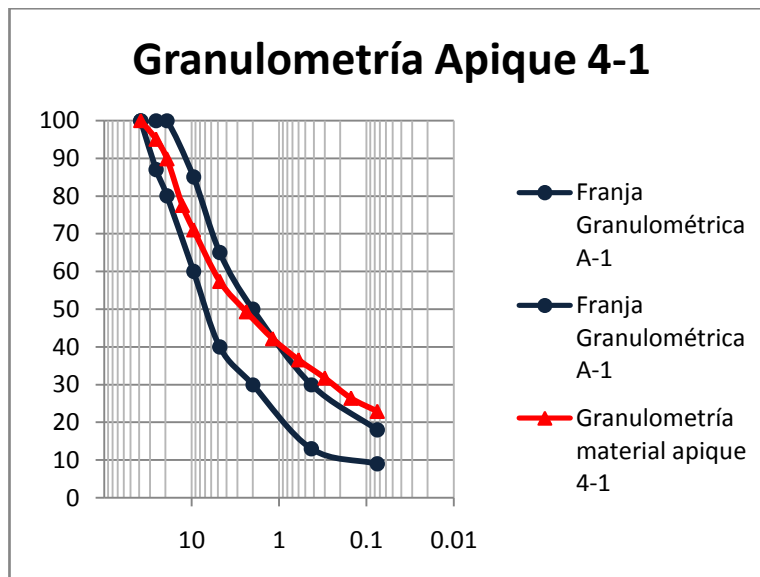


Figura 22. Ajuste de granulometría apique 4-1 a franja granulométrica A-1

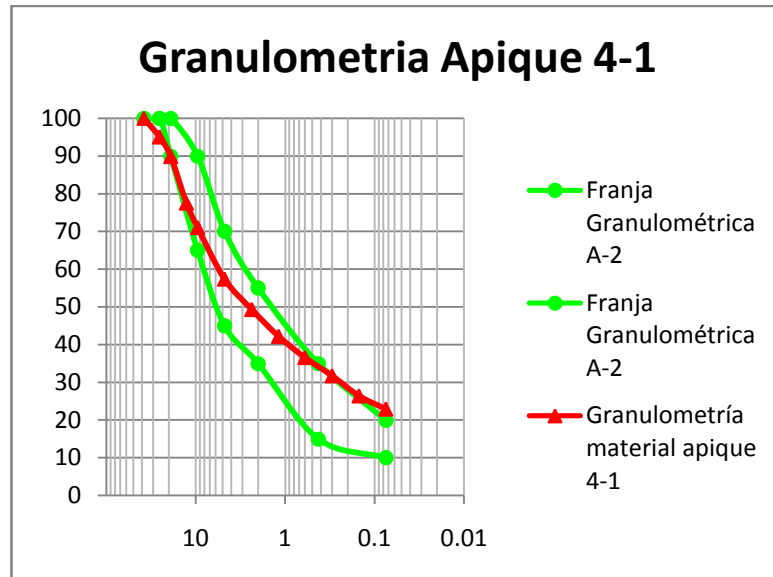


Figura 23. Ajuste de granulometría apique 4-1 a franja granulométrica A-2

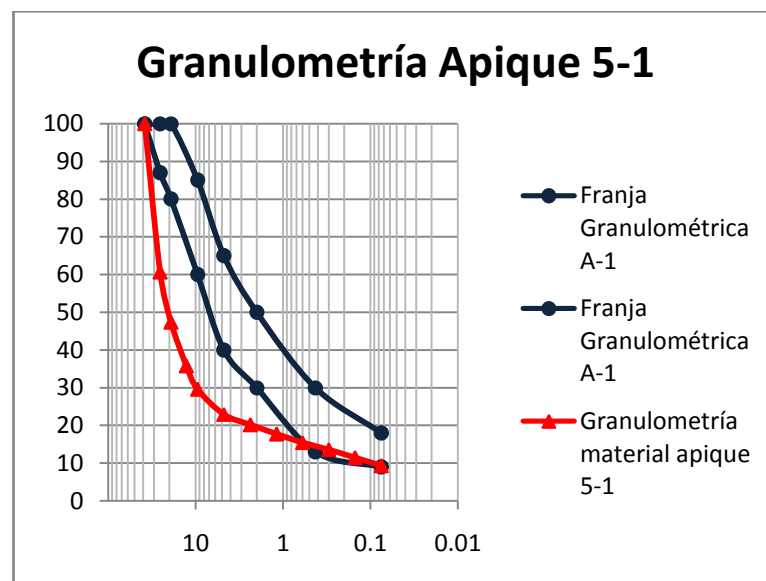


Figura 24. Ajuste de granulometría apique 5-1 a franja granulométrica A-1

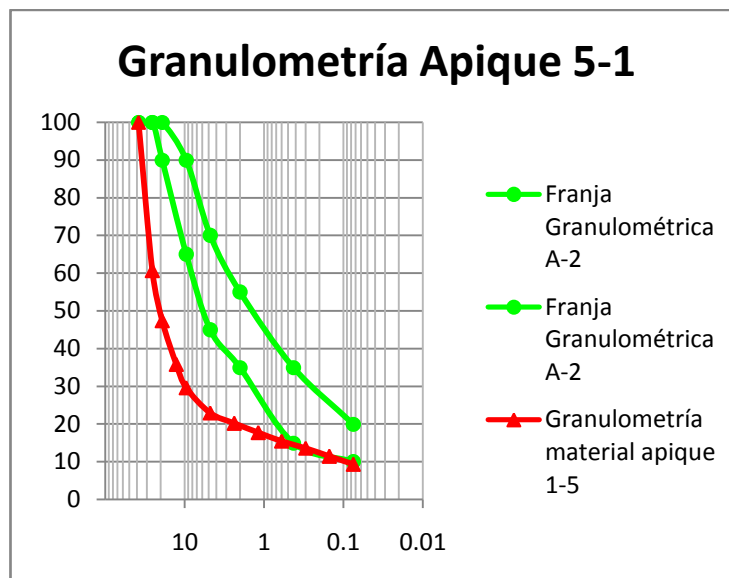


Figura 25. Ajuste de granulometría apique 5-1 a franja granulométrica A-2

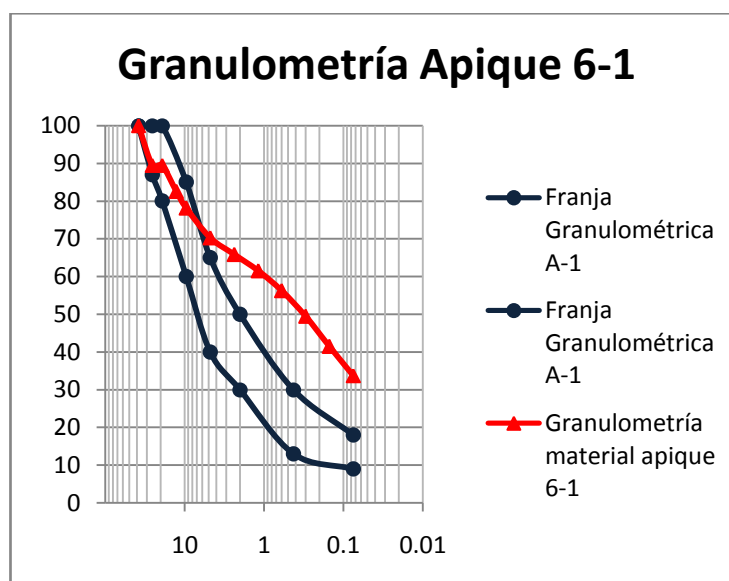


Figura 26. Ajuste de granulometría apique 6-1 a franja granulométrica A-1

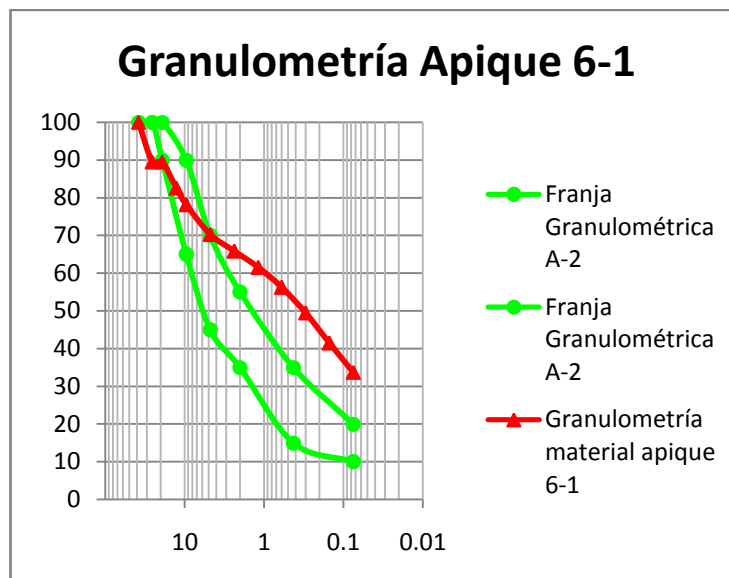


Figura 27. Ajuste de granulometría apique 6-1 a franja granulométrica A-2

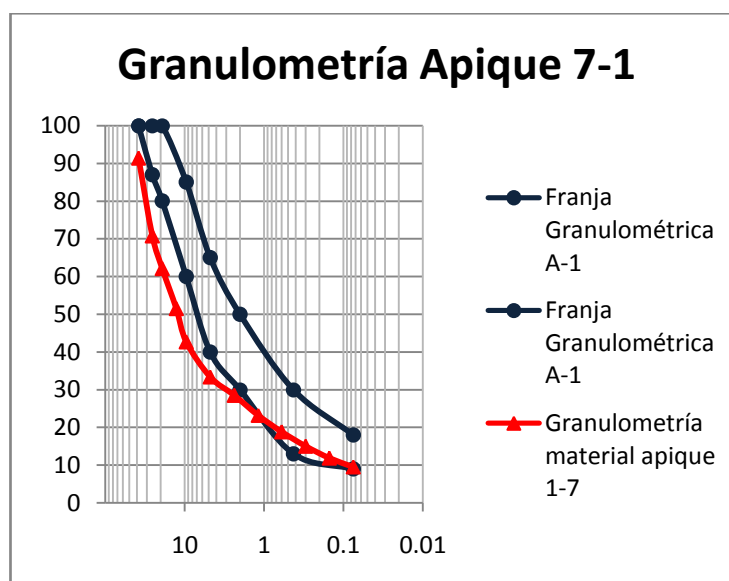


Figura 28. Ajuste de granulometría apique 7-1 a franja granulométrica A-1

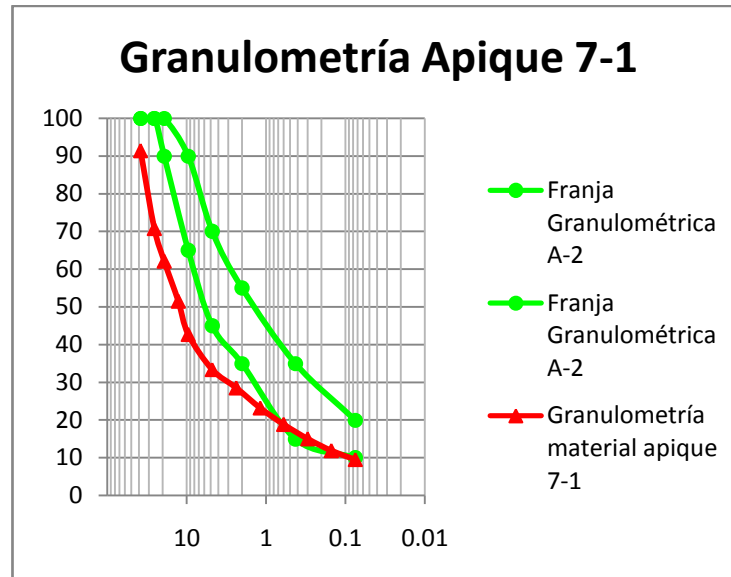


Figura 29. Ajuste de granulometría apique 7-1 a franja granulométrica A-2



Fotografía 11. Prueba límite líquido.



Fotografía 12. Prueba límite plástico.



Fotografía 13. Prueba CBR.



Fotografía 14. Prueba de esclerometría.

Tabla 7. Temperaturas medias mensuales del aire para la ciudad de Cali

Mes	MMAT, °C	Factor de ponderación
Enero	24,7	1,87
Febrero	25	1,92
Marzo	25,4	2
Abril	23,8	1,7
Mayo	23,3	1,58
Junio	23,4	1,6
Julio	23,2	1,56
Agosto	23,5	1,64
Septiembre	23	1,52
Octubre	23,2	1,56
Noviembre	22	1,37
Diciembre	22,3	1,44
		19,76
Factor de ponderación promedio	24	1,65

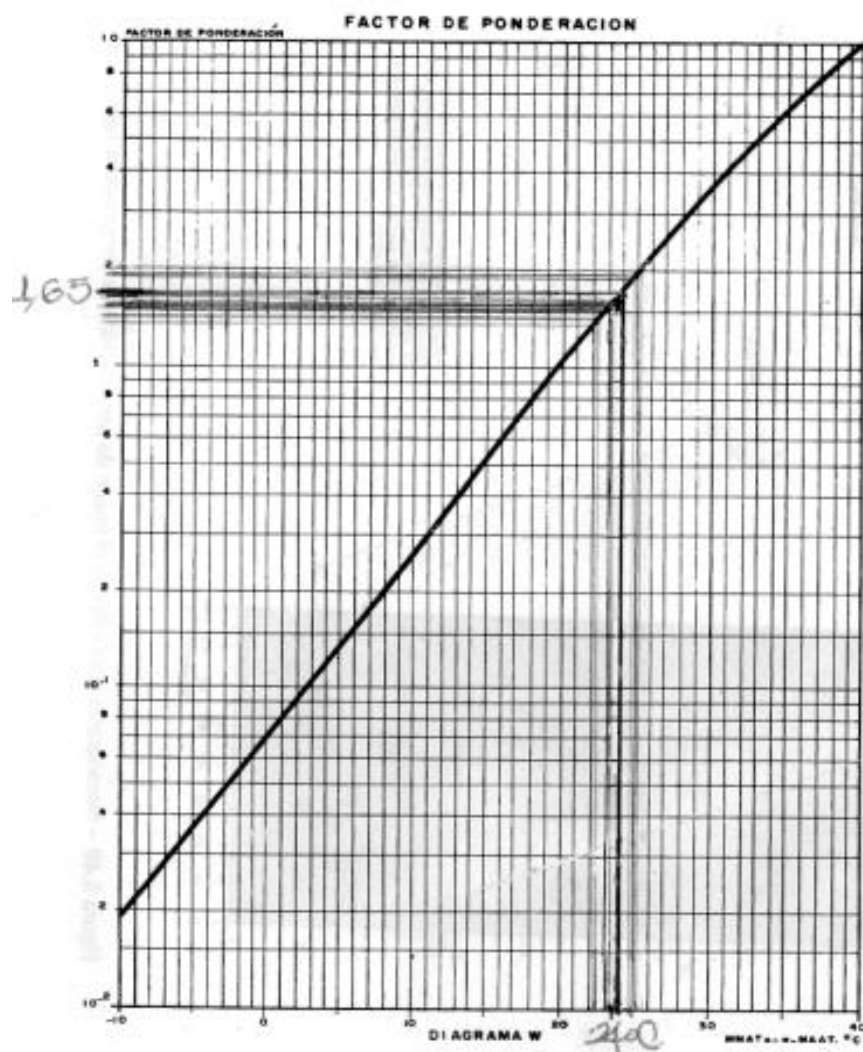


Figura 30. Curva de ponderación de temperatura

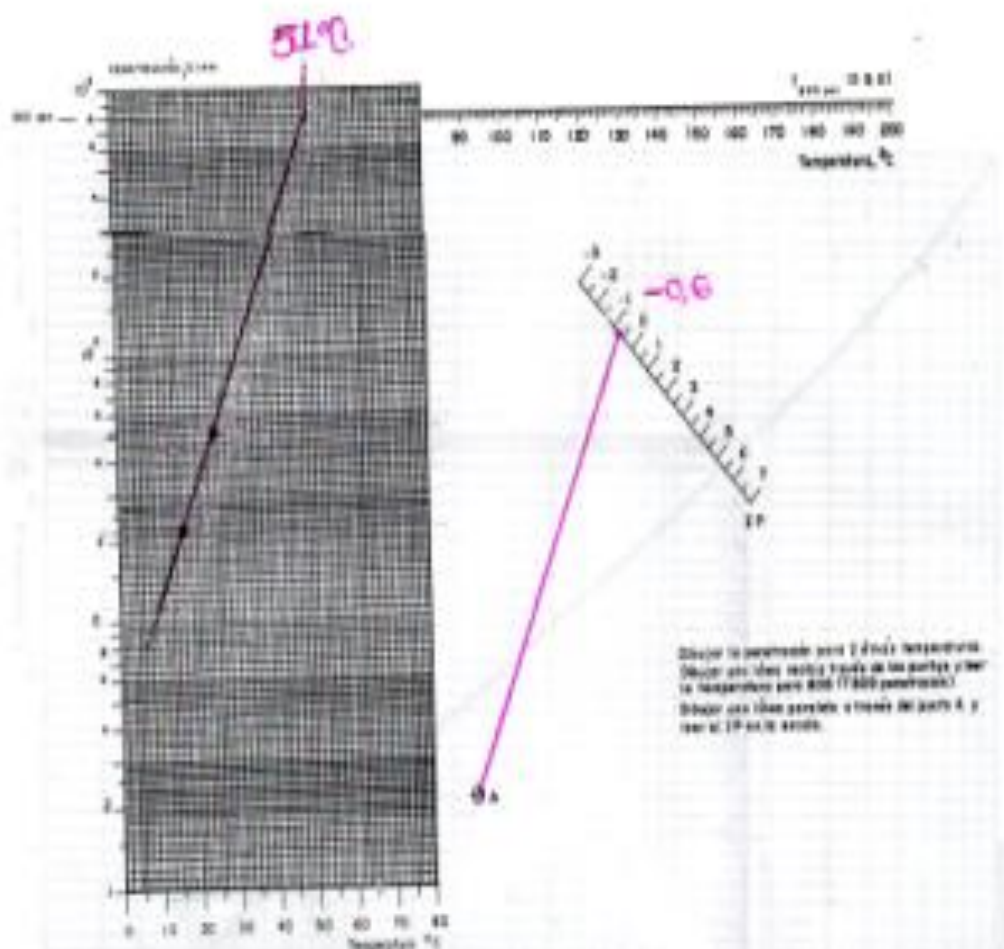


Figura 31. Nomograma para calcular el índice de penetración y la temperatura T_{800}

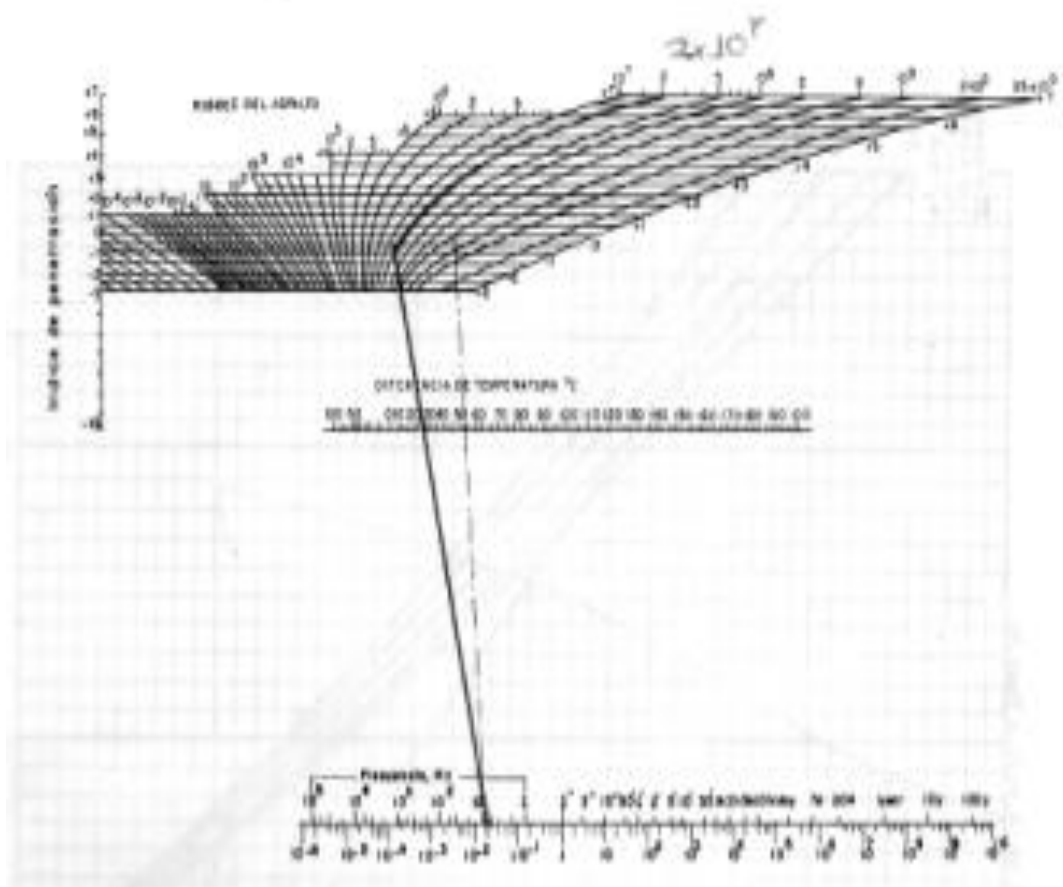


Figura 32. Nomograma de Van Der Poel para determinar el módulo dinámico (*Stiffness*) del asfalto

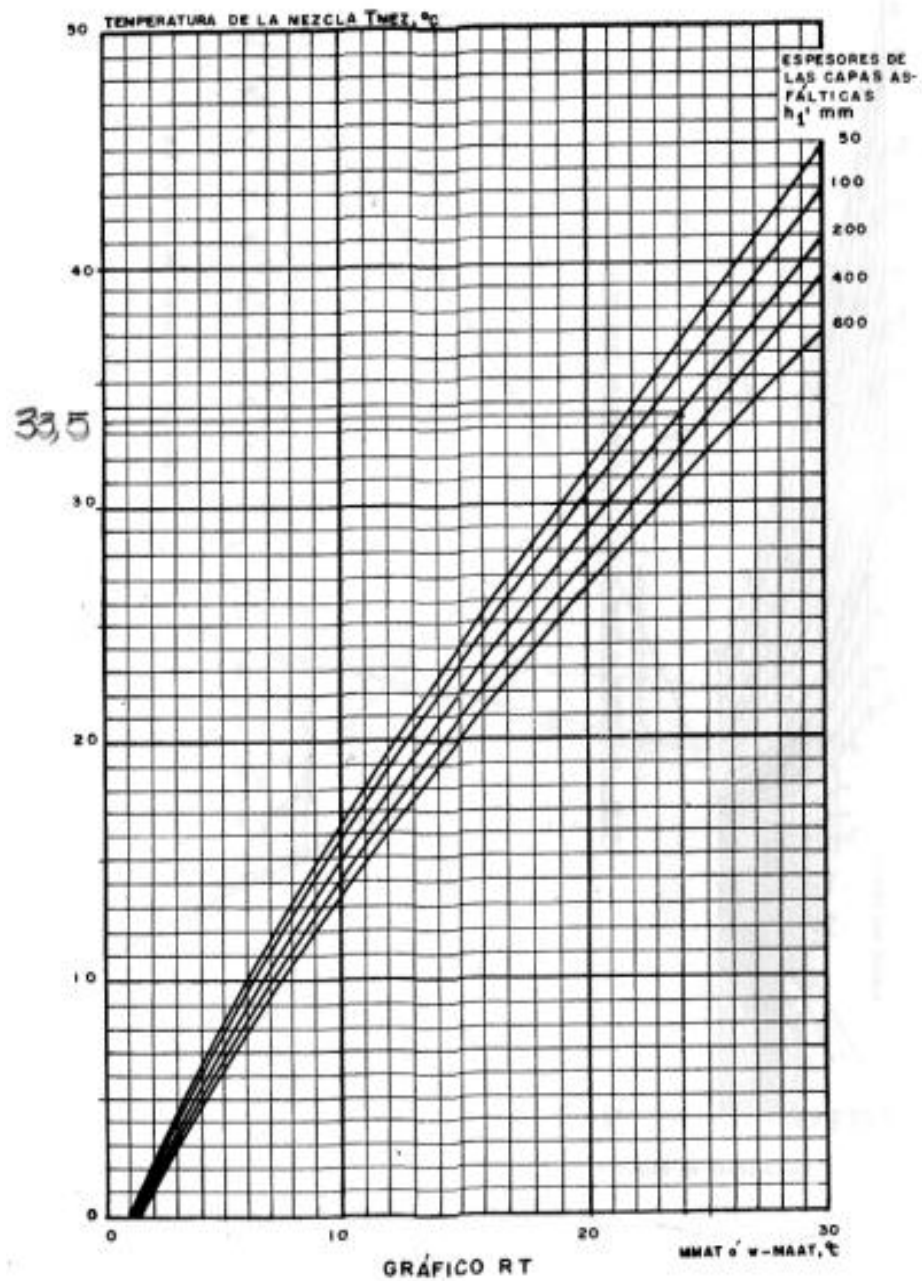


Figura 33. Relación entre la temperatura efectiva de las capas asfálticas y MMAT o w-MAAT

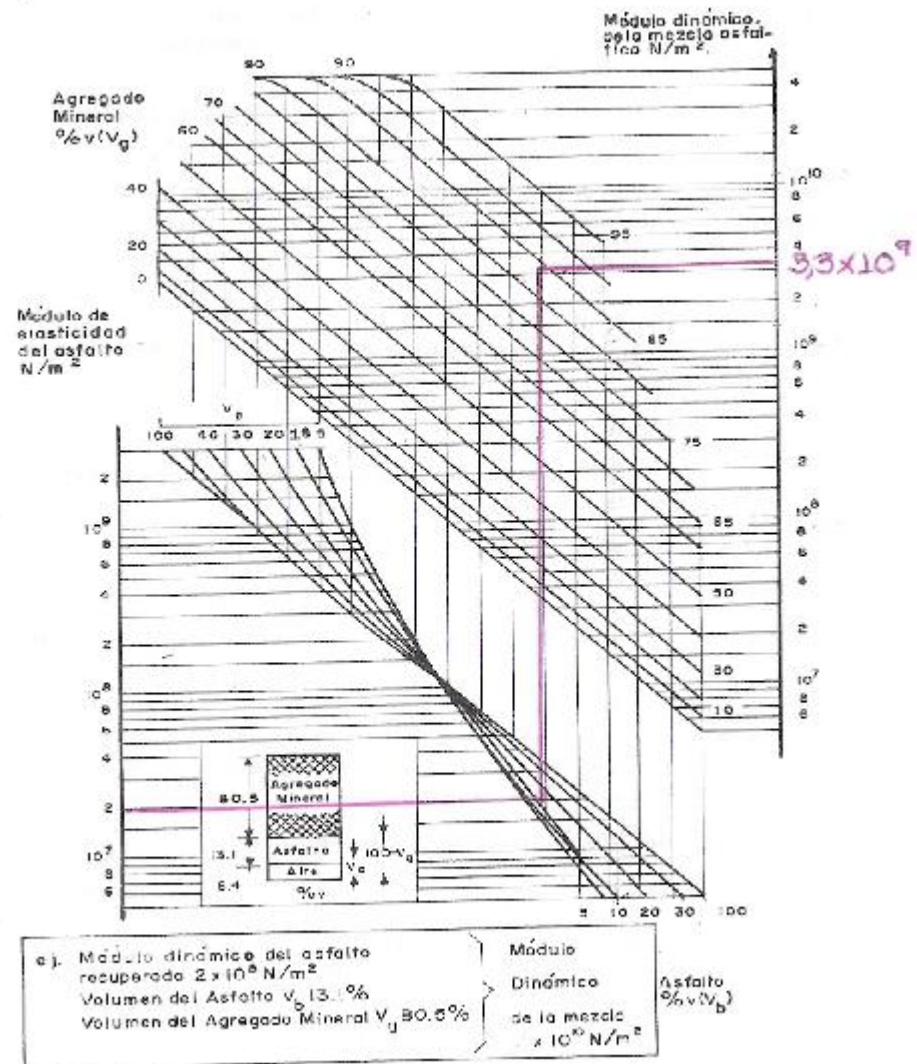


Figura 34. Nomograma para el cálculo del módulo dinámico (*Stiffness*) de las mezclas asfálticas

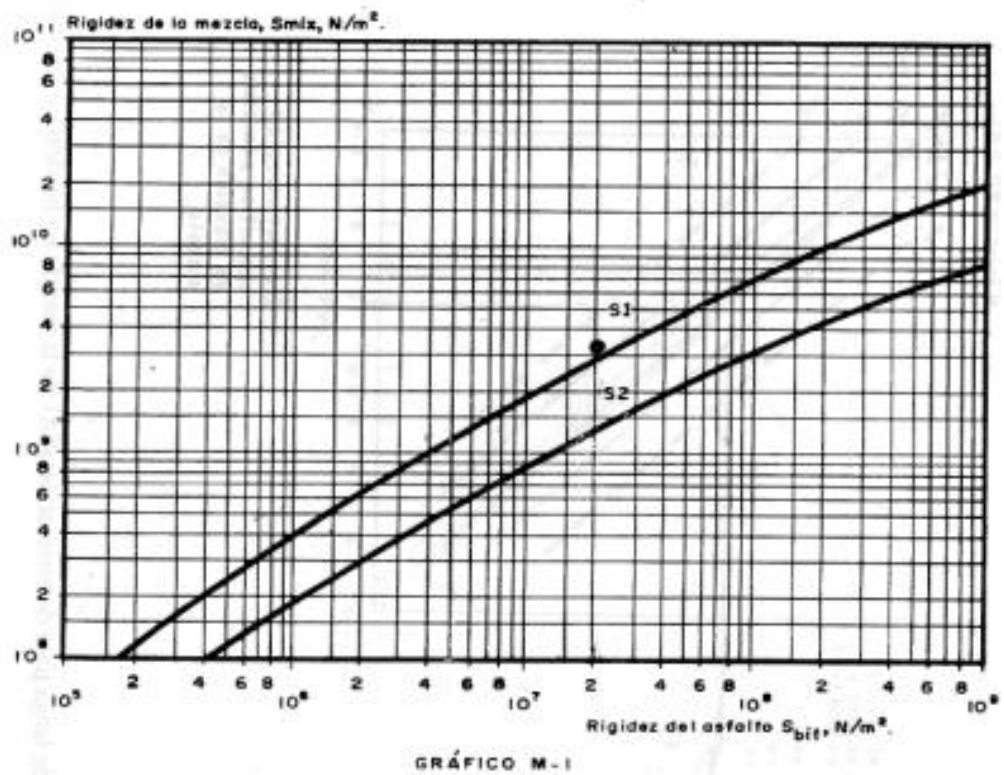
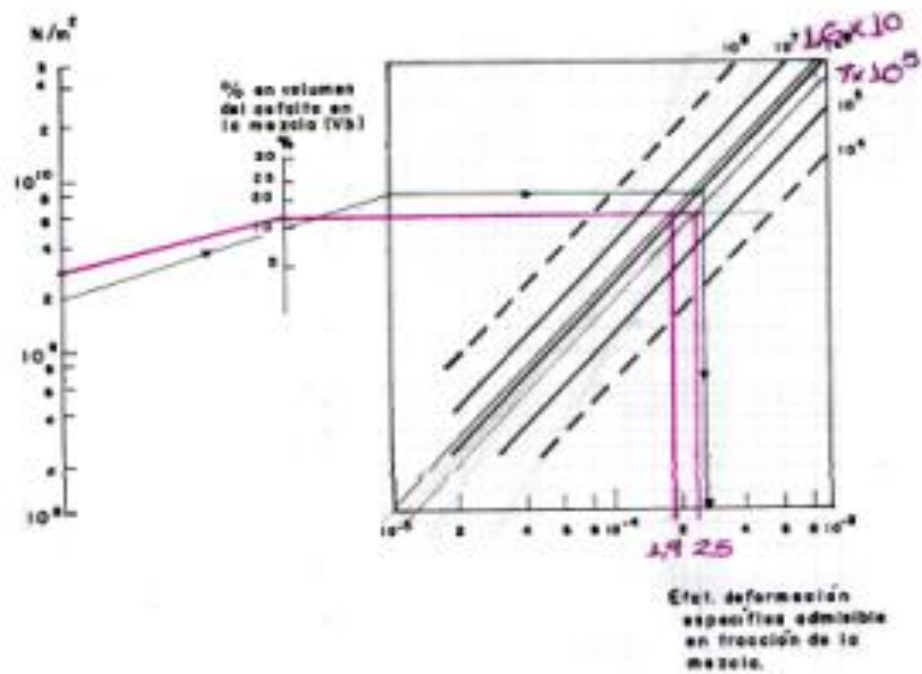


Figura 35. Relaciones entre la rigidez de la mezcla y la rigidez del asfalto



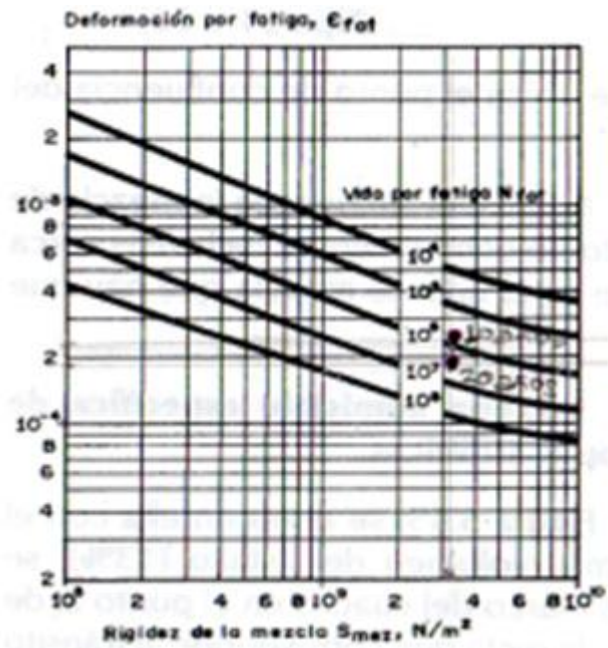


Figura 37. Características de fatiga F1

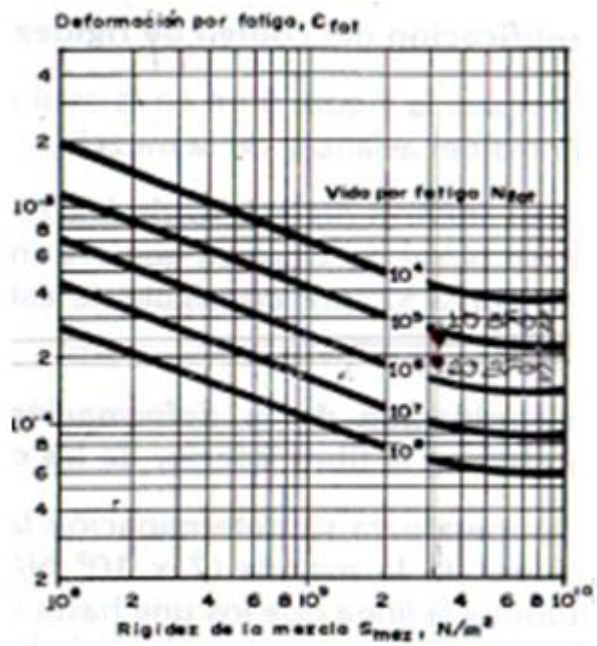


Figura 38. Características de fatiga F2

[illegible]

Figura 39. Resultados método Marshall de mezcla asfáltica, agregados y mezclas Cachibí

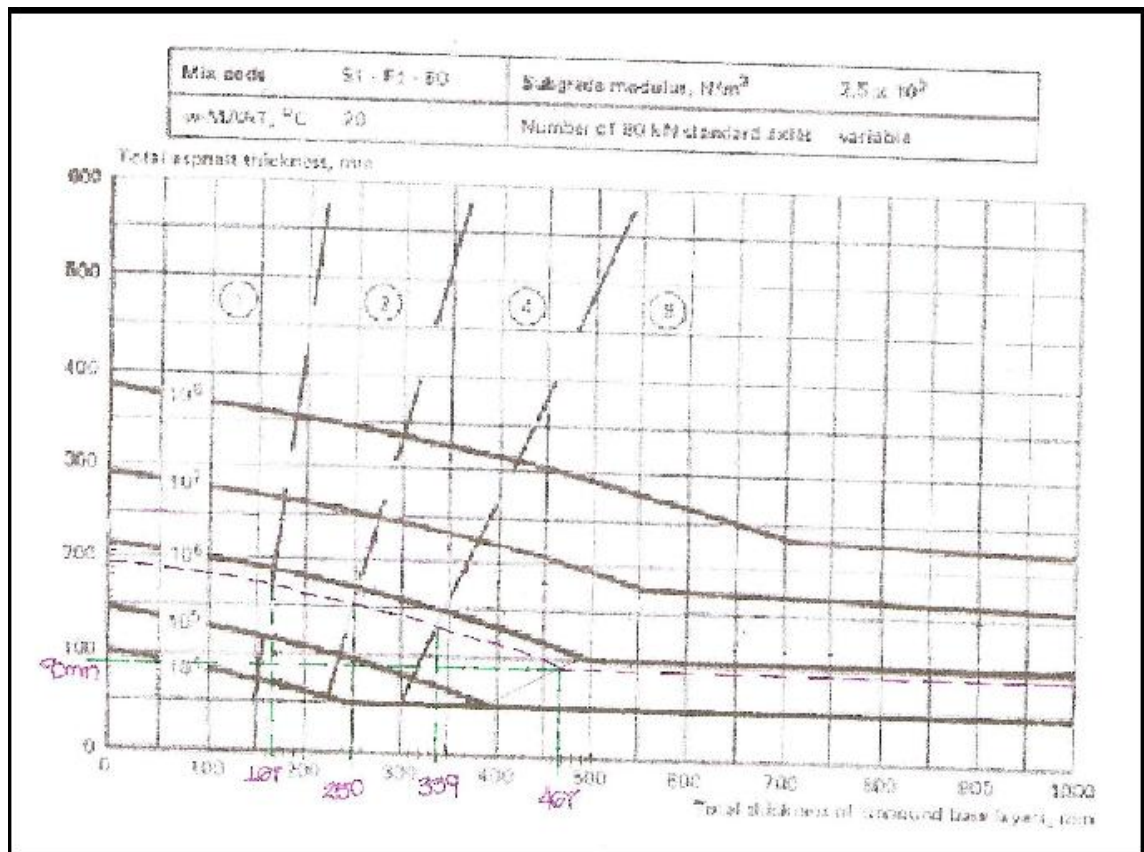


Figura 40. Carta de diseño HN 17, para un N de 7.06×10^5

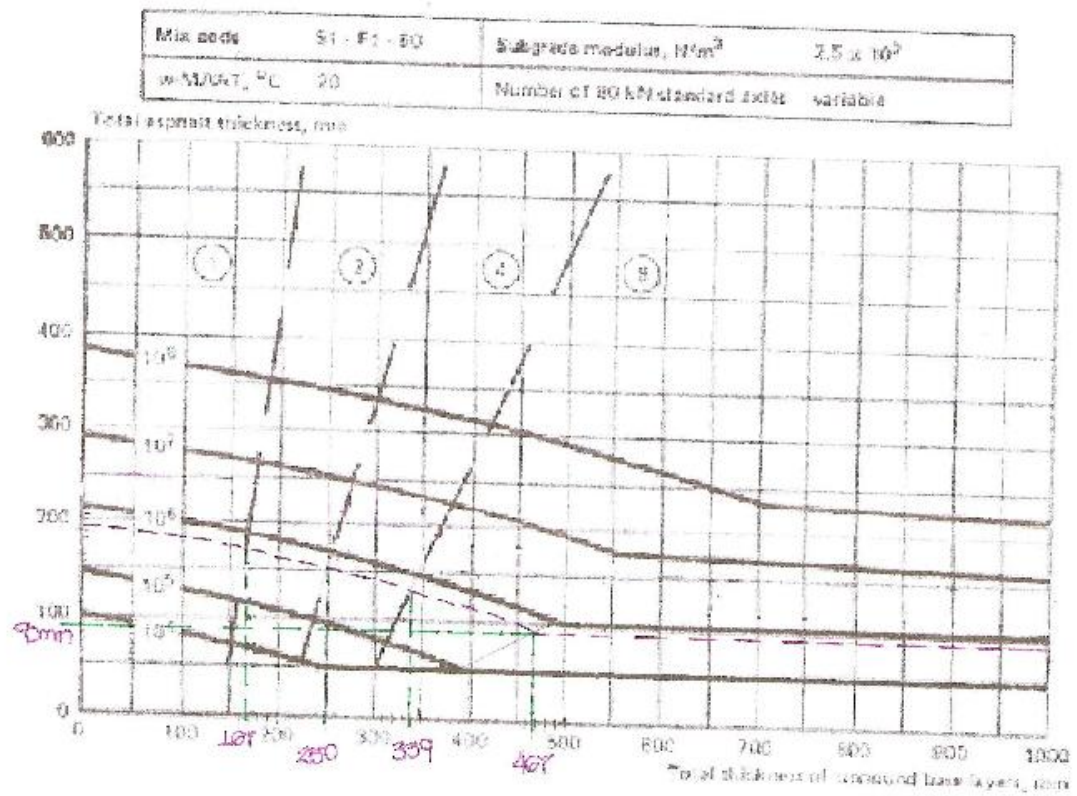


Figura 41. Carta de diseño HN 25, para un N de 7.06×10^5

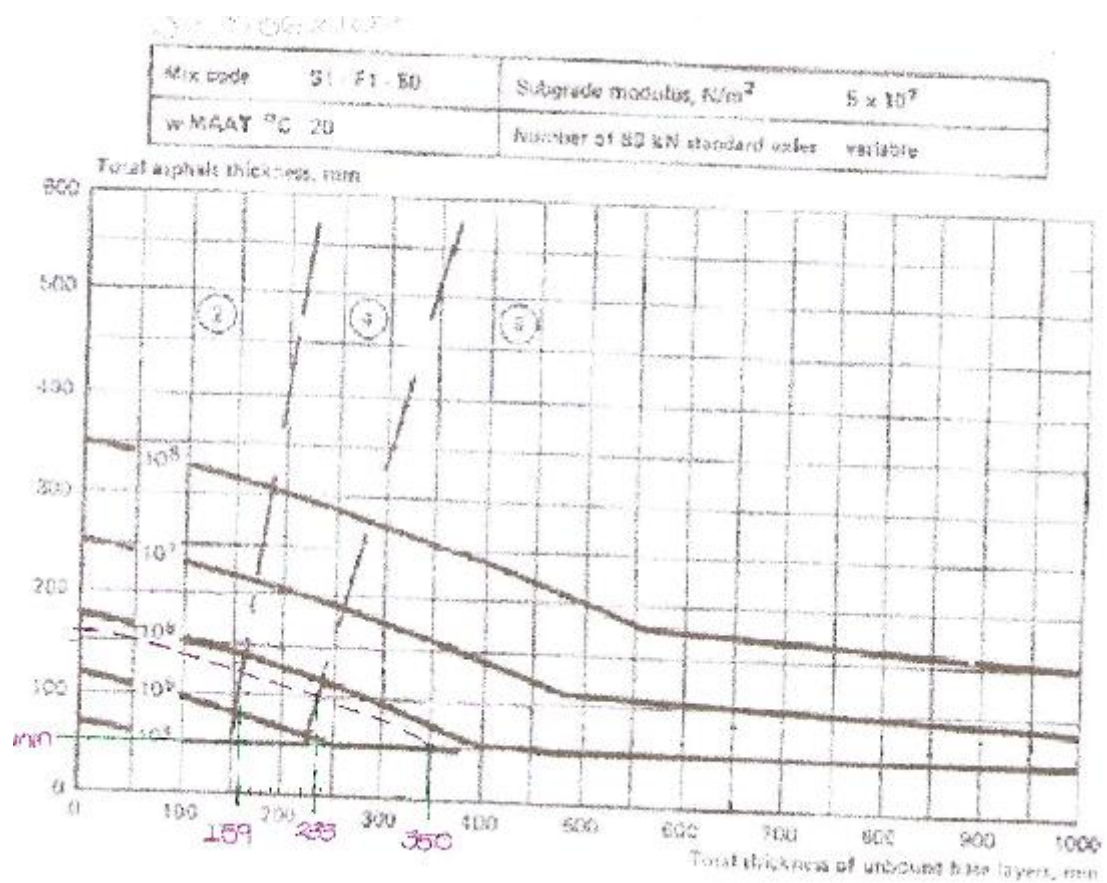


Figura 42. Carta de diseño HN 49, para un N de 7.06×10^5

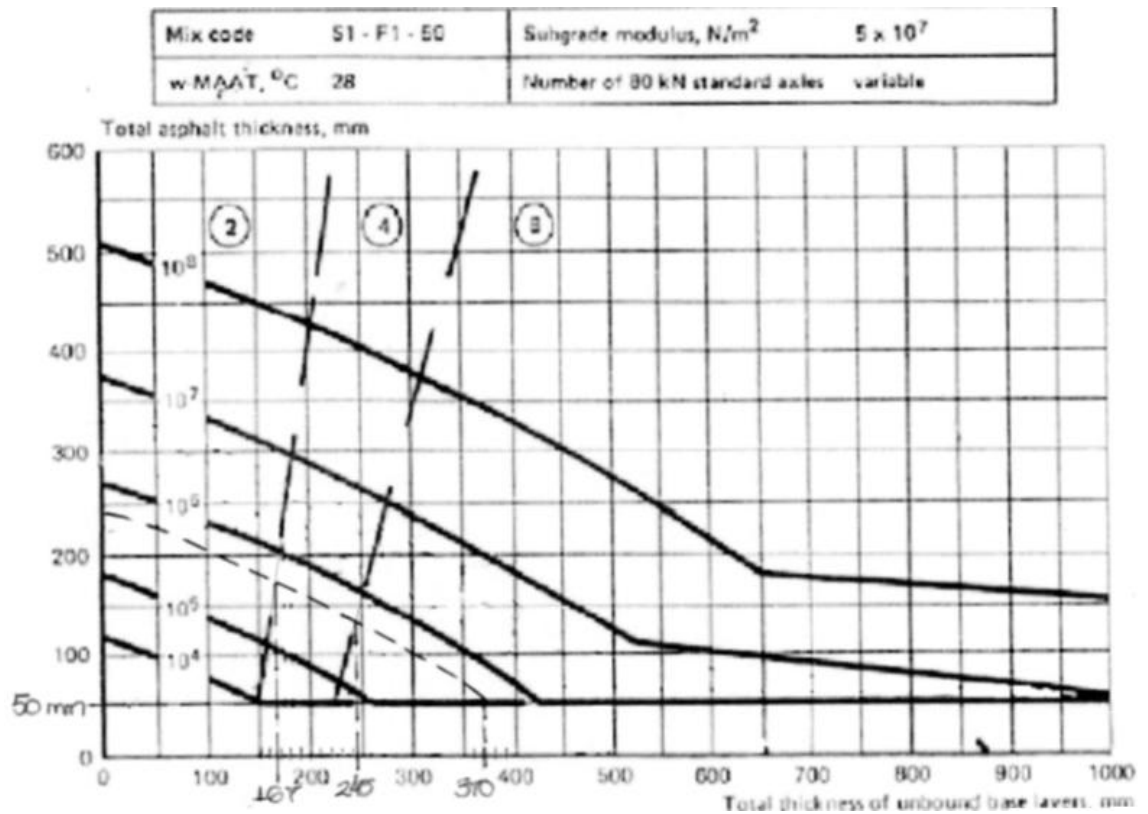


Figura 43. Carta de diseño HN 57, para un N de 7.06×10^5

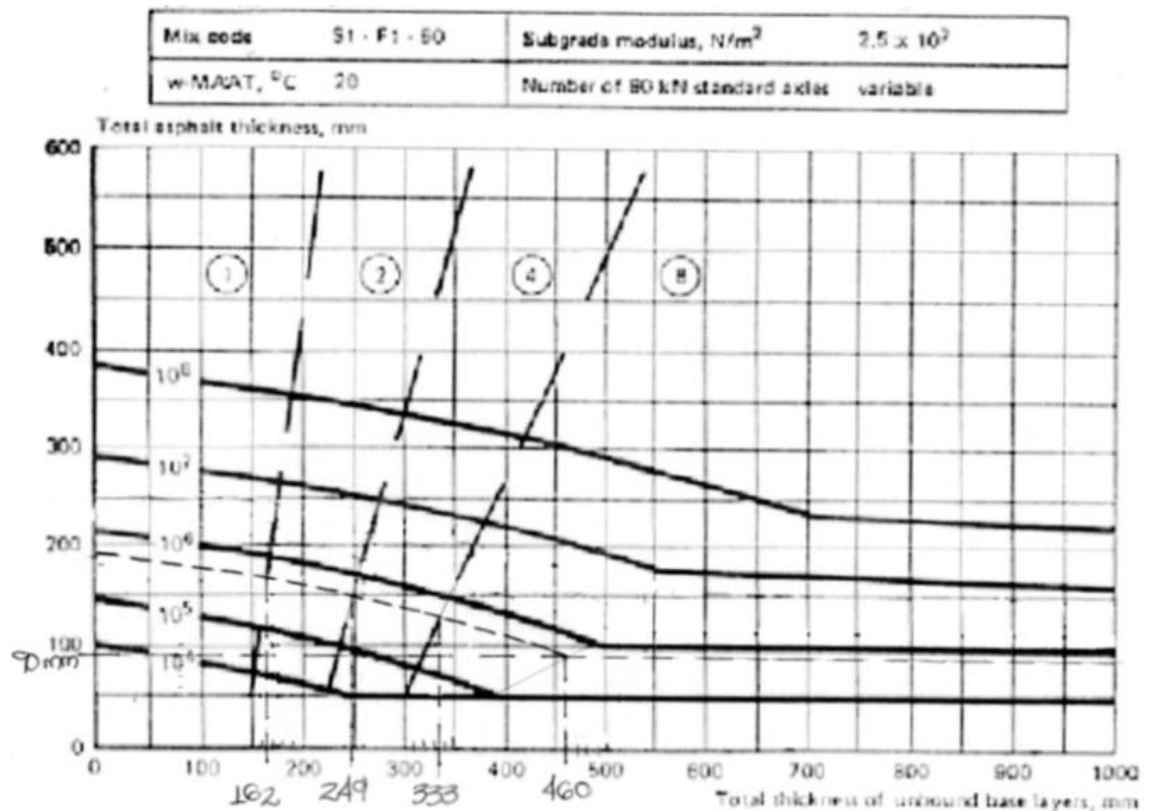


Figura 44. Carta de diseño HN 17, para un N de 6.74×10^5

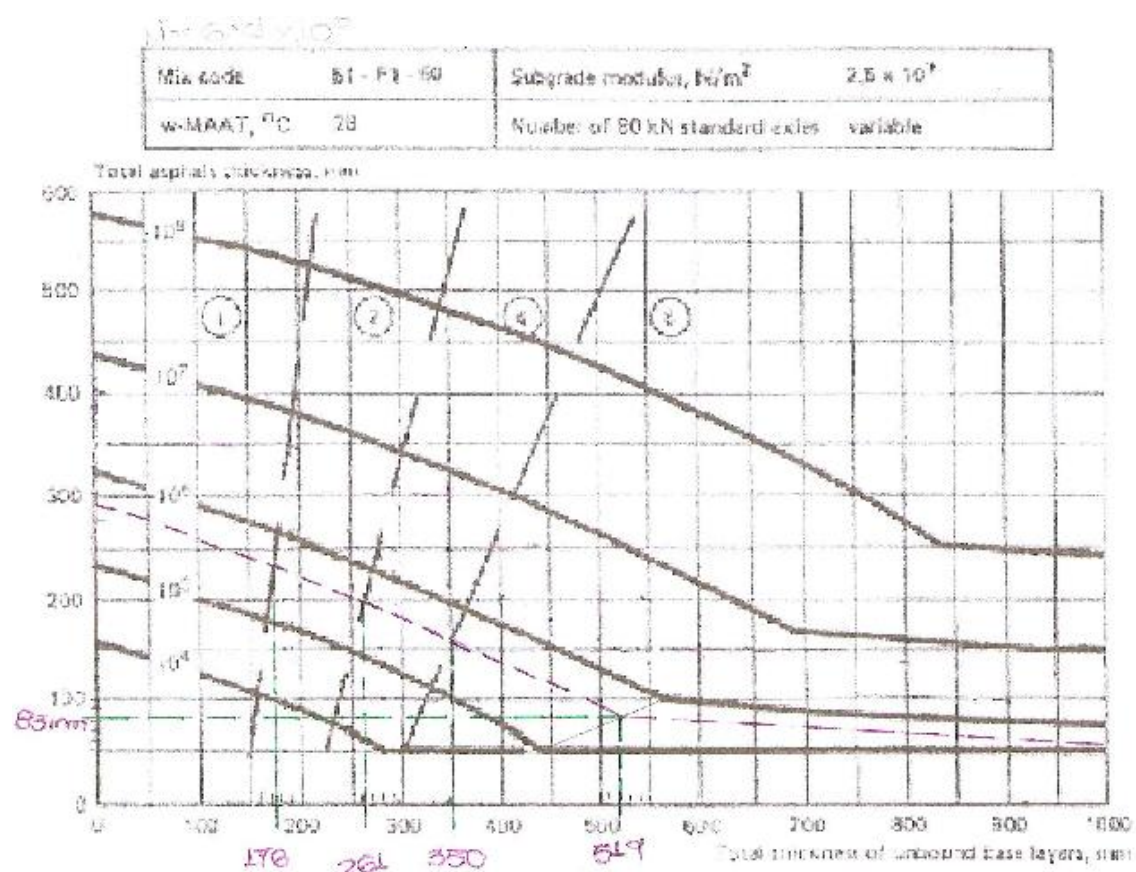


Figura 45. Carta de diseño HN 25, para un N de 6.74×10^5

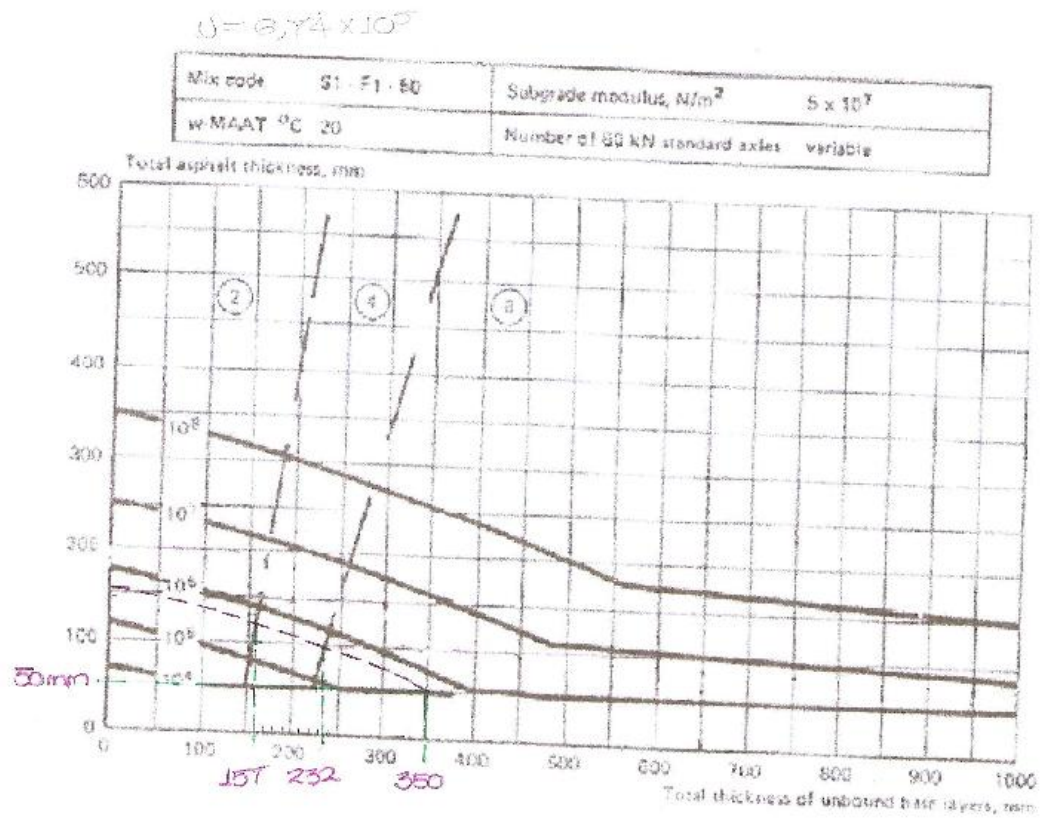


Figura 46. Carta de diseño HN 49, para un N de 6.74×10^5

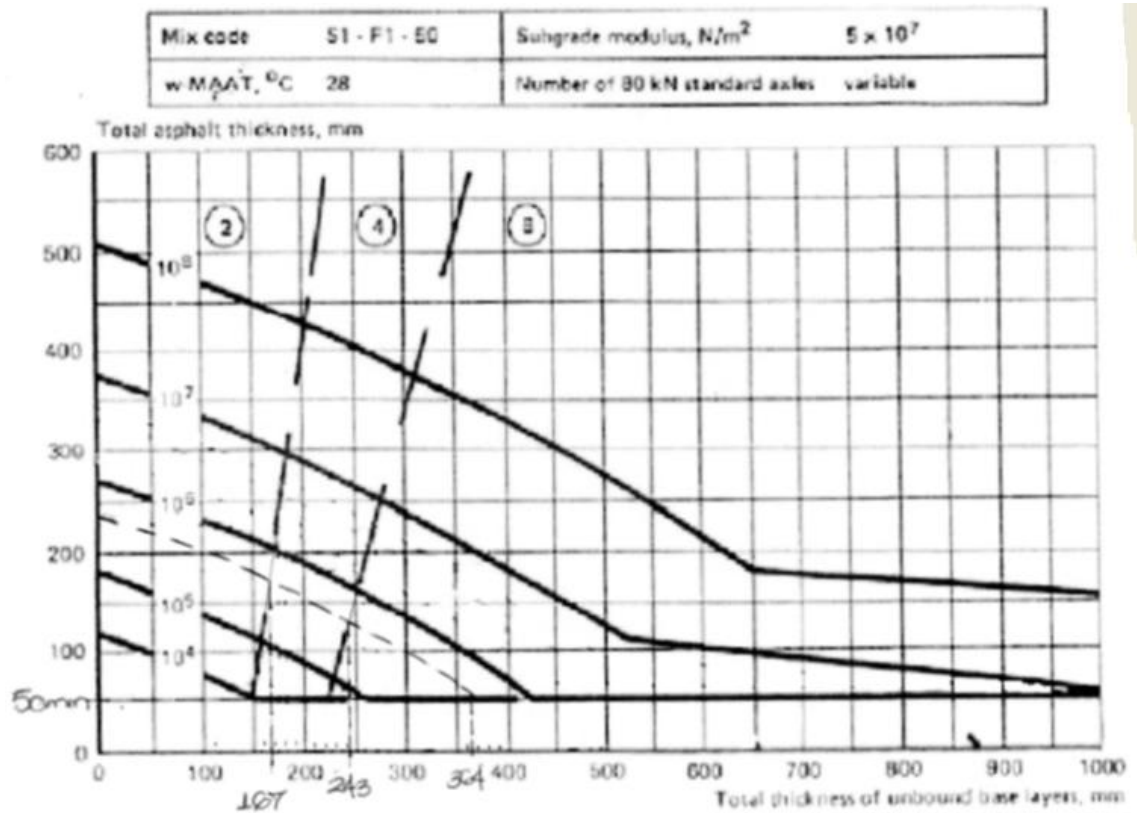


Figura 47. Carta de diseño HN 57, para un N de 6.74×10^5

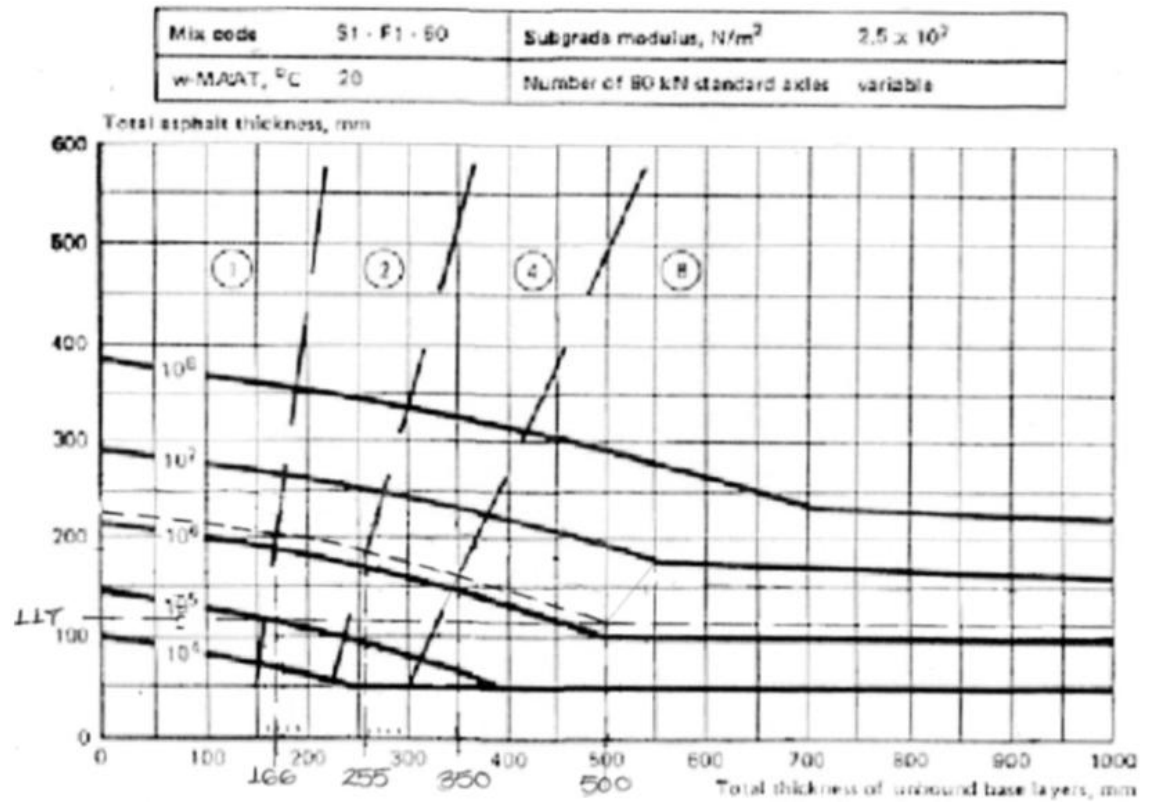


Figura 48. Carta de diseño HN 17, para un N de 1.65×10^6

Mix code	S1 - F1 - 50	Subgrade modulus, N/m^2	2.5×10^7
w-MAAT, °C	20	Number of 80 kN standard axes	variable

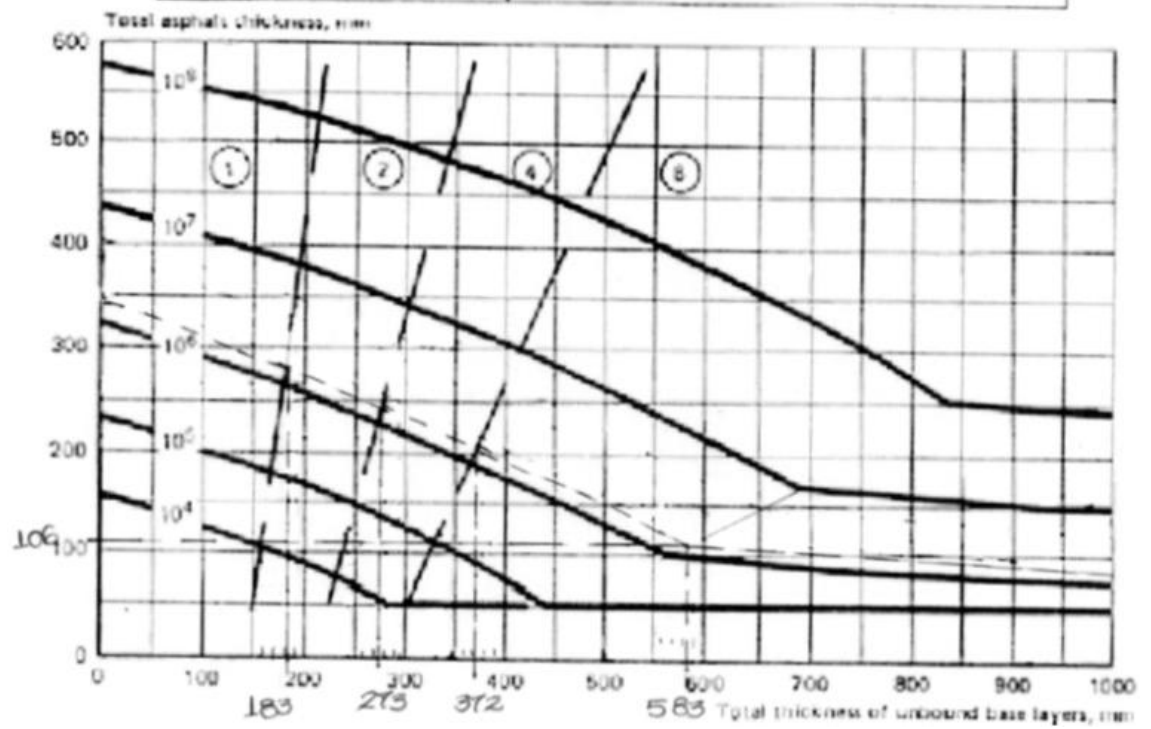


Figura 49. Carta de diseño HN 25, para un N de 1.65×10^6

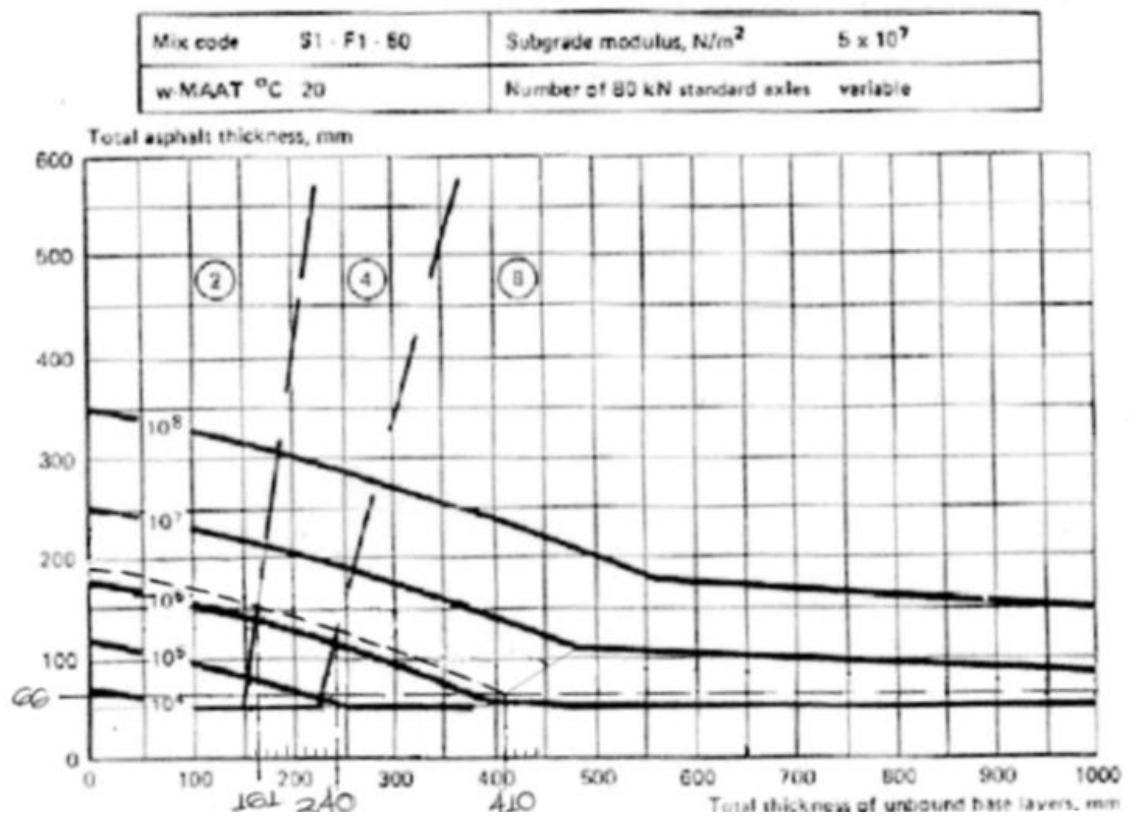


Figura 50. Carta de diseño HN 49, para un N de 1.65×10^6

Mix code	S1 - F1 - E0	Subgrade modulus, N/m^2	5×10^7
$w - M_{AT}$, $^{\circ}C$	28	Number of 80 kN standard axes	variable

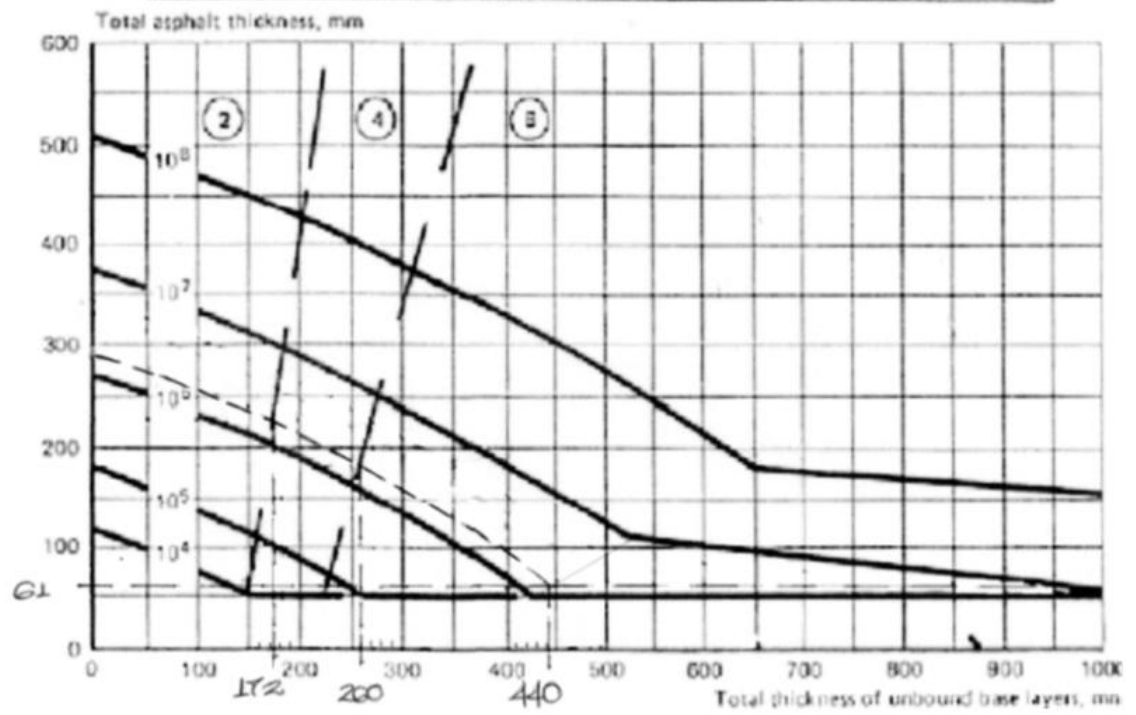


Figura 51. Carta de diseño HN 57, para un N de 1.65×10^6

Mix code	S1 - F1 - 50	Subgrade modulus, N/m^2	2.5×10^2
w-MAT, $^{\circ}C$	20	Number of 80 kN standard axles	variable

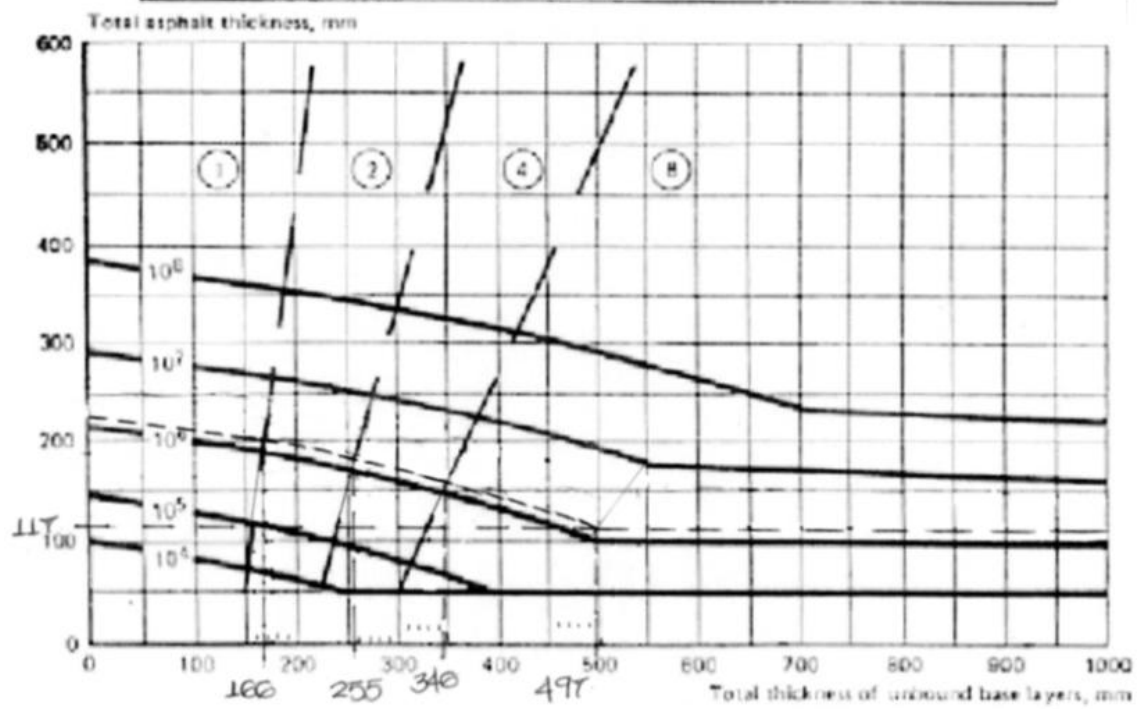


Figura 52. Carta de diseño HN 17, para un N de 1.58×10^6

Mix code	S1 - F1 - 50	Subgrade modulus, N/m^2	$2,5 \times 10^7$
w-MAAT, °C	28	Number of 80 kN standard axles	variable

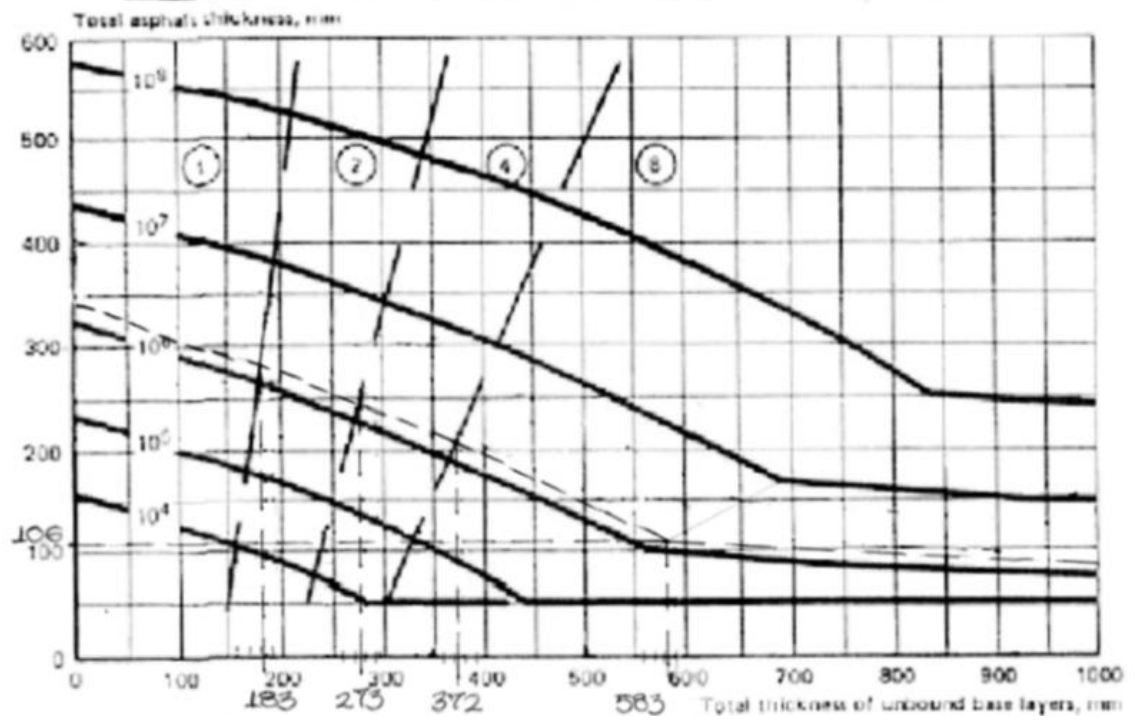


Figura 53. Carta de diseño HN 25, para un N de 1.58×10^6

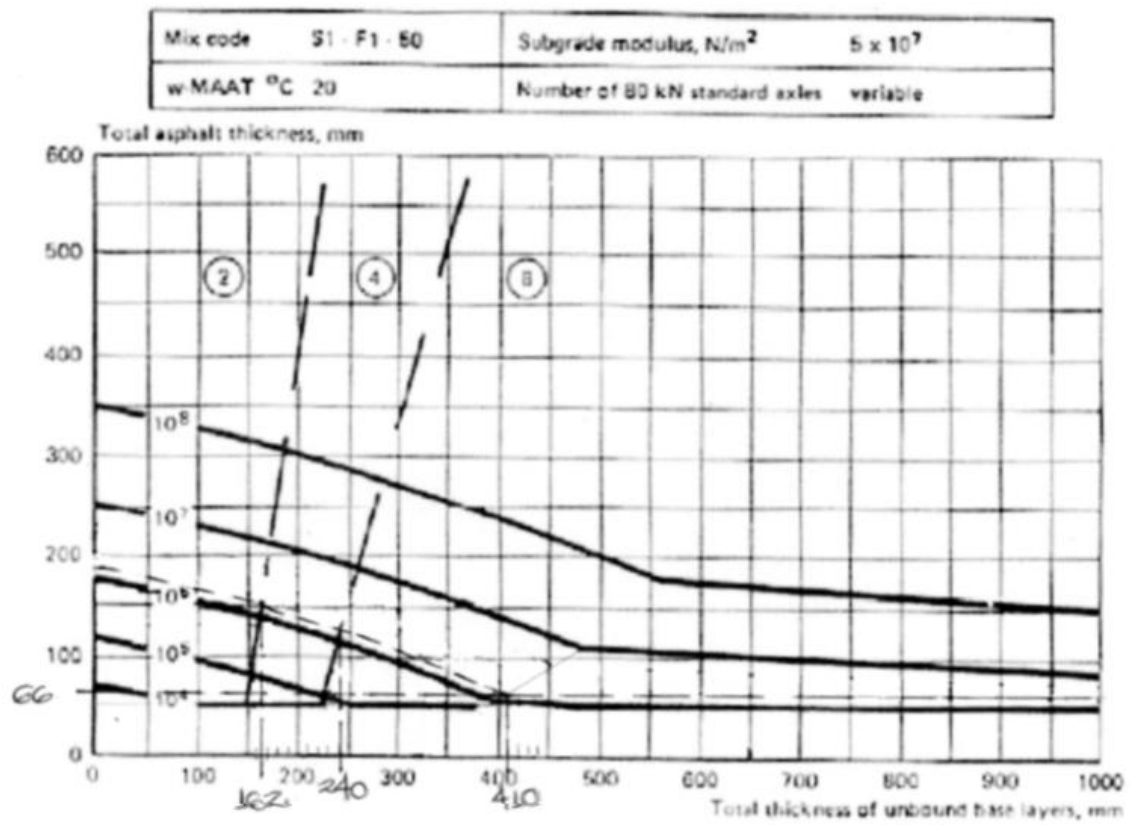


Figura 54. Carta de diseño HN 49, para un N de 1.58×10^6

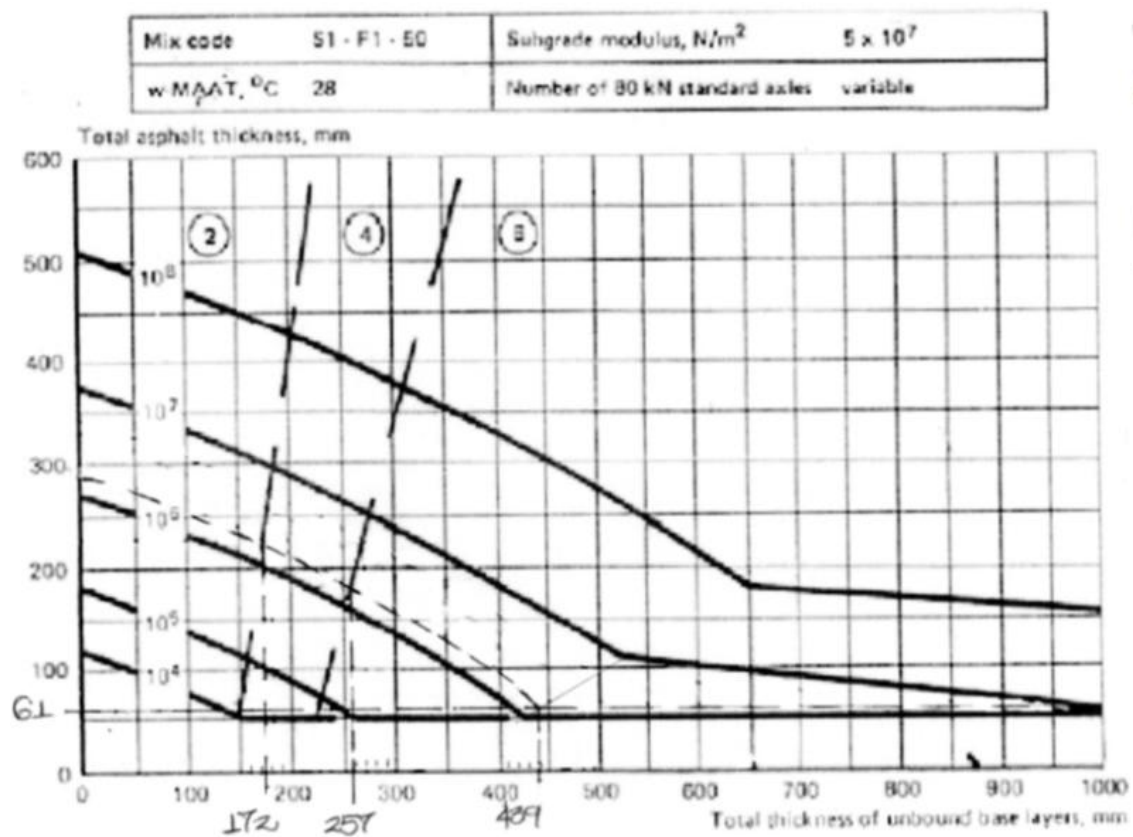


Figura 55. Carta de diseño HN 57, para un N de 1.58×10^6

Tabla 8. TPD-C Admisible-categoría 1 de carga por eje - pavimentos con juntas de trabazón de agregados (sin pasadores) (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición)

Tabla 6.14

TPD-C Admisible - categoría 1 de carga por eje pavimentos con juntas de trabazón de agregados (sin pasadores)

Sin berma o sardinel de concreto					Con berma o sardinel de concreto				
Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante-subbase (MPa/m)				Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante-subbase (MPa/m)			
	Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)			Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	
MIR = 4.4 MPa	120		0.1	0.3	MIR = 4.4 MPa	100		0.1	0.4
	130	0.2	1	4		110	0.3	2	6
	140	2	11	33		120	4	21	60
	150	18	77	210		130	38	160	410
	160	110	407			140	240		
MIR = 4.1 MPa	170	500			MIR = 4.1 MPa				
	130		0.2	0.7		110		0.3	1
	140	0.4	2	8		120	0.8	5	15
	150	4	19	54		130	9	41	110
	160	27	110	290		140	65	260	650
MIR = 3.8 MPa	170	140	530		MIR = 3.8 MPa	150	360		
	180	600							
	140	0.1	0.4	1		110			0.2
	150	0.7	4	12		120	0.1	0.8	3
	160	5	26	72		130	2	9	26
	170	32	130	350		140	14	63	170
	180	150	570			150	90	340	-
						160	430		

Notas:

1. El análisis de fatiga controla al diseño.
2. Un valor fraccional de TPD-C indica que el pavimento puede soportar un número limitado de automóviles y camiones de 2 ejes y 4 llantas, pero solo unos pocos camiones pesados por semana (TPD/C de 0.3 X 7 días = 2.1, indica dos camiones pesados por semana).

Tabla 9. TPD-C Admisible-categoría 2 de carga por eje - pavimentos con juntas con pasadores (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición)

Tabla 6.15 TPD-C Admisible -categoría 2 de carga por eje - pavimento con juntas con pasadores											
	Sin berma o sardinel de concreto						Con berma o sardinel de concreto				
	Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante-subbase (MPa/m)					Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante-subbase (MPa/m)			
		Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	Muy alto (70 +)			Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	Muy alto (70 +)
MIR = 4.4 MPa	140				3	MIR = 4.4 MPa	120			6	
	150			5	26		130		4	12	53
	160	2	12	35	150		140	6	30	86	330
	170	15	68	190	740		150	44	180	470	1700
	180	77	320	820	3100		160	240	890	2200	
	190	330	1300	3200			170	1000	3700		
	200	1200	4500				180	4100			
	210	4100									
MIR = 4.1 MPa	150				5	MIR = 4.1 MPa	130			12	
	160		2	8	38		140		7	20	87
	170	3	16	47	200		150	10	46	130	470
	180	18	82	220	870		160	60	240	620	2100
	190	85	350	900	3300		170	290	1100	2600	
	200	330	1300	3300			180	1200	4100		
	210	1200	4400				190	4200			
	220	3700									
MIR = 3.8 MPa	160				8	MIR = 3.8 MPa	140			4	18
	170		3	9	46		150		9	28	110
	180	3	17	51	220		160	12	56	150	550
	190	18	82	220	870		170	67	270	670	2300
	200	78	320	840	3100		180	290	1100	2600	
	210	290	1100	2900			190	1100	3900		
	220	940	3600				200	3700			
	230	2900									

Tabla 10. TPD-C Admisible-categoría 2 de carga por eje - pavimentos con juntas de trabazón de agregados (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición)

Tabla 6.16 TPD-C Admisible – categoría 2 de carga por eje – Pavimentos con juntas de trabazón de agregados											
	Sin berma o sardinel de concreto						Con berma o sardinel de concreto				
	Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante-subbase (MPa/m)					Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante-subbase (MPa/m)			
		Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	Muy alto (70 +)			Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	Muy alto (70 +)
MR = 4.4 MPa	140				3	MR = 4.4 MPa	120			6	
	150			5	26		130		4	12	53
	160	2	12	35	150		140	6	30	86	330
	170	15	68	190	740		150	44	180	470	840
	180	77	320	820	1300		160	240	800	1100	1500
	190	330	1200	1500	2000		170	800	1300	1800	2800
	200	1200	1700	2100	3000		180	1200	2100	3100	
	210	1600	2300	3100			190	1900	3500		
	220	2100	3200				200	2900			
	230	2900									
MR = 4.1 MPa	150				5	MR = 4.1 MPa	130			2	12
	160		2	8	38		140		7	20	87
	170	3	16	47	200		150	10	46	130	470
	180	18	82	220	870		160	60	240	620	1500
	190	85	350	900	2000		170	290	1100	1800	2800
	200	330	1300	2100	3000		180	1200	2100	3100	
	210	1200	2300	3100			190	1900	3500		
	220	210	3200				200	2900			
	230	2900									
MR = 3.8 MPa	160				8	MR = 3.8 MPa	140			4	18
	170		3	9	46		150		9	28	110
	180	3	17	51	220		160	12	56	150	550
	190	18	82	220	870		170	67	270	670	2300
	200	78	320	840	3000		180	290	1100	2600	
	210	290	1100	2900			190	1100	3500		
	220	940	3200				200	2900			
	230	2900									

Tabla 11. TPD-C Admisible-categoría 3 de carga por eje - pavimentos con juntas con pasadores (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición)

Tabla 6.17									
TPD-C Admisible - Categoría 3 de carga por eje - Pavimentos con juntas con pasadores									
Sin bermas o cordón de concreto					Con bermas o cordón de concreto				
Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante-sulbanse (MPa/m)				Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante-sulbanse (MPa/m)			
	Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	May alto (70 +)		Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	May alto (70 +)
ME = 4.4 MPa	180			36	160			24	100
	190			37	170		46	120	460
	200		57	160	640	180	50	210	530
	210	51	220	500	2.200	190	210	800	2.000
	220	180	740	1.900	7.100	200	770	2.800	6.700
	230	580	2.300	5.900	12.200	210	2.500	9.100	
	240	1.700	6.700	13.900	19.000	220	7.900		
	250	4.700	16.300	21.100					
	260	12.800	24.200						
	270	23.000							
ME = 4.1 MPa	190			40	160				24
	200			39	170			30	120
	210		54	150	610	180		51	140
	220	45	200	530	2.000	190	52	210	540
	230	150	630	1.600	6.100	200	210	780	1.900
	240	470	1.900	4.800	16.400	210	700	2.500	6.100
	250	1.300	5.200	13.600		220	2.200	7.900	
	260	3.400	14.400			230	6.500		
	270	8.900							
	210			33	150	170			
ME = 3.8 MPa	220		43	120	500	180			30
	230	34	150	410	1.600	190		48	130
	240	110	470	1.200	4.600	200	45	190	470
	250	320	1.300	3.400	13.100	210	170	640	1.600
	260	860	3.500	9.400		220	550	2.000	4.800
	270	2.200	9.300			230	1.600	5.900	
	280	5.400				240	4.600		

Tabla 12. TPD-C Admisible-categoría 3 de carga por eje - pavimentos con juntas con de trabazón de agregados (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición)

Tabla 6.18										
TPD-C Admisible – Categoría 3 de cargas por eje – Pavimentos con juntas de trabazón de agregados										
Sin bermas o sardinel de concreto						Con bermas sardinel de concreto				
Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante - subbase (MPa/m)				Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante - subbase (MPa/m)				
	Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	Muy alto (70 +)		Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	Muy alto (70 +)	
MR = 4.4 MPa	190			37	170	160			24	100
	200			57	160	170		46	120	460
	210	51	220	580	1.000	180	50	210	530	830
	220	180	740	1.000	1.500	190	210	620	870	1.400
	230	580	1.100	1.400	2.100	200	540	930	1.300	2.200
	240	920	1.400	1.900	2.800	210	770	1.400	2.100	3.500
	250	1.200	1.900	2.500	3.800	220	1.100	2.100	3.200	5.700
	260	1.500	2.400	3.300	5.200	230	1.500	3.000	4.900	9.300
	270	2.000	3.200	4.400	7.000	240	2.200	4.500	7.500	
	280	2.500	4.100	5.800	9.400	250	3.000	6.600		
MR = 4.1 MPa	290	3.200	5.200	7.500		260	4.200	9.800		
	300	4.000	6.700			270	5.900			
	310	4.900				280	8.200			
	200			39	170	160				24
	210		54	150	610	170			30	120
	220	45	200	530	1.500	180		51	140	510
	230	150	630	1.400	2.100	190	52	220	540	1.400
	240	470	1.400	1.900	2.800	200	210	780	1.300	2.200
	250	1.200	1.900	2.500	3.800	210	700	1.400	2.100	3.500
	260	1.500	2.400	3.400	5.200	220	1.100	2.100	3.200	5.700
MR = 4.1 MPa	270	2.000	3.200	4.400	7.000	230	1.500	3.000	4.900	9.300
	280	2.500	4.100	5.800	9.400	240	2.200	4.500	7.500	
	290	3.200	5.200	7.500		250	3.000	6.600		
	300	4.000	6.700			260	4.200	9.800		
	310	4.900				270	5.900			
						280	8.200			
	200			37	170	170				25
	210			33	150	180			30	120
	220		43	120	500	190		48	130	470
	230	34	150	410	1.600	200	45	190	470	1.600
MR = 3.8 MPa	240	110	470	1.200	2.800	210	170	640	1600	3.500
	250	320	1.300	2.500	3.800	220	550	2.000	3.200	5.700
	260	860	2.400	3.300	5.200	230	1.500	3.000	4.900	9.300
	270	2.000	3.200	4.400	7.000	240	2.200	4.500	7.500	
	280	2.500	4.100	5.800	9.400	250	3.000	6.600		
	290	3.200	5.200	7.500		260	4.200	9.800		
	300	4.000	6.700			270	5.900			
	310	4.900				280	8.200			

Tabla 13. TPD-C Admisible-categoría 4 de carga por eje - pavimentos con juntas con pasadores (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición)

Tabla 6.19										
TPD-C Admisible - Categoría 4 de cargas por eje -										
Pavimentos con juntas con pasadores										
Sin bermas o sardinel de concreto					Con bermas o sardinel de concreto					
Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante - subbase (MPa/m)				Espesor de losa (mm)	Soporte subrasante - subbase (MPa/m)				
	Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	Muy alto (70 +)		Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-60)	Muy alto (70 +)	
MR = 4.4 MPa	200				120	180			99	380
	210			110	460	190		160	410	1,400
	220		140	400	1,600	200	150	590	1,500	4,800
	230	110	480	1,300	4,700	210	530	2,000	4,700	15,500
	240	350	1,400	3,700	13,900	220	1,700	6,000	14,400	
	250	990	4,000	10,300	21,700	230	4,900	17,800	43,400	
	260	2,600	10,600	24,100	33,900	240	14,000			
	270	6,500	27,700	36,500		250	38,200			
	280	16,000	40,600							
	290	36,800								
MR = 4.1 MPa	210				120	180				94
	220				420	190			100	390
	230		120	340	1,300	200		150	390	1,400
	240		390	1,000	3,900	210	140	540	1,300	4,400
	250	270	1,100	2,900	10,900	220	460	1,700	4,100	13,300
	260	730	2,900	7,800	30,100	230	1,400	5,000	11,800	39,600
	270	1,800	7,600	20,400		240	3,900	14,000	33,900	
	280	4,400	19,100			250	10,500	38,600		
	290	10,300				260	28,200			
	300	24,200								
MR = 3.8 MPa	230				320	200			87	330
	240				990	210		120	320	1,100
	250		270	730	2,800	220	100	420	1,000	3,400
	260	170	750	2,000	7,500	230	340	1,300	3,000	9,900
	270	460	1,900	5,100	19,700	240	990	3,500	8,500	28,000
	280	1,100	4,700	12,800		250	2,700	9,500	23,000	
	290	2,600	11,400	32,000		260	6,900	25,100		
	300	5,900	27,300			270	17,600			
	310	12,900								
	320	28,700								

Tabla 14. TPD-C Admisible-categoría 4 de carga por eje - pavimentos con juntas de trabazón de agregados (tomado del libro ingeniería de pavimentos para carreteras 2 edición)

	Sin berma o sardinel de concreto						Con berma o sardinel de concreto				
	Espesor de losa mm.	Soporte subrasante - subbase (MPa/m)					Espesor de losa mm.	Soporte subrasante - subbase (MPa/m)			
		Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-64)	Muy alto (70+)			Bajo (20-34)	Medio (35-49)	Alto (50-64)	Muy alto (70+)
MR = 4.4 MPa	200				120	170				85	
	210			130	460	180			99	380	
	220		140	400	1.100	190		150	410	890	
	230	110	480	1.000	1.600	200	150	390	940	1.400	
	240	350	1.100	1.500	2.200	210	530	1.000	1.500	2.300	
	250	990	1.500	2.000	3.800	220	830	1.500	2.200	3.800	
	260	1.300	2.000	2.700	4.000	230	1.200	2.200	3.400	6.100	
	270	1.600	2.600	3.500	5.400	240	1.700	3.300	5.200	9.600	
	280	2.300	3.300	4.600	7.300	250	2.300	4.800	7.800	15.100	
	290	2.600	4.200	6.000	9.800	260	3.200	6.900	11.600	22.900	
	300	3.300	5.400	7.800	13.000	270	4.400	9.800	17.100	34.000	
	310	4.100	6.900	10.100	17.300	280	6.000	13.900	24.800	50.300	
	320	5.100	8.800	13.000	23.000	290	8.300	19.700	34.700	73.600	
	330	6.300	11.100	16.800	30.400	300	11.100	27.400	48.600		
	340	7.800	14.000	21.500	40.000	310	15.000	37.000	67.900		
350	9.600	17.600	27.600		320	20.200	49.900				
360	11.800	22.100	35.300		330	27.200					
370	14.500										
MR = 4.1 MPa	210				120	180				94	
	220			90	420	190			100	390	
	230		120	340	1.300	200		150	390	1.400	
	240	87	390	1.000	2.200	210	140	540	1.300	2.300	
	250	270	1.100	2.000	3.000	220	460	1.500	2.200	3.800	
	260	780	2.000	2.700	4.000	230	1.200	2.200	3.400	6.100	
	270	1.600	2.600	3.500	5.400	240	1.700	3.300	5.200	9.600	
	280	2.100	3.300	4.600	7.300	250	2.300	4.800	7.800	15.100	
	290	2.600	4.200	6.000	9.800	260	3.200	6.900	11.600	22.900	
	300	3.300	5.400	7.800	13.000	270	4.400	9.800	17.100	34.000	
	310	4.100	6.900	10.100	17.300	280	6.000	13.900	24.800	50.300	
	320	5.100	8.800	13.000	23.000	290	8.300	19.700	34.700	73.600	
	330	6.300	11.100	16.800	30.400	300	11.100	27.400	48.600		
	340	7.800	14.000	21.500	40.000	310	15.000	37.000	67.900		
	350	9.600	17.600	27.600	52.800	320	20.200	49.900			
360	11.800	22.100	35.300		330	27.200	66.900				
370					340	34.900					
MR = 3.8 MPa	220				94	180				85	
	230			75	820	200			87	330	
	240		87	258	990	210		120	320	1.100	
	250	59	270	730	2.800	220	300	420	1.000	3.400	
	260	170	750	2.000	4.000	230	340	1.300	3.000	6.100	
	270	460	1.900	3.500	5.400	240	990	3.300	5.200	9.600	
	280	1.100	3.300	4.600	7.300	250	2.300	4.800	7.800	15.100	
	290	2.600	4.200	6.000	9.800	260	3.200	6.900	11.600	22.900	
	300	3.300	5.400	7.800	11.000	270	4.400	9.800	17.100	34.000	
	310	4.100	6.900	10.100	17.300	280	6.000	13.900	24.800	50.300	
	320	5.100	8.800	13.000	23.000	290	8.300	19.700	34.700	73.600	
	330	6.300	11.100	16.800	30.400	300	11.100	27.400	48.600		
	340	7.800	14.000	21.500	40.000	310	15.000	37.000	67.900		
	350	9.600	17.600	27.600	52.800	320	20.200	49.900			
	360	11.800	22.100	35.300	69.300	330	27.200	66.900			
					340	34.900	88.500				
					350	44.900					

RESULTADOS CBR INALTERADO

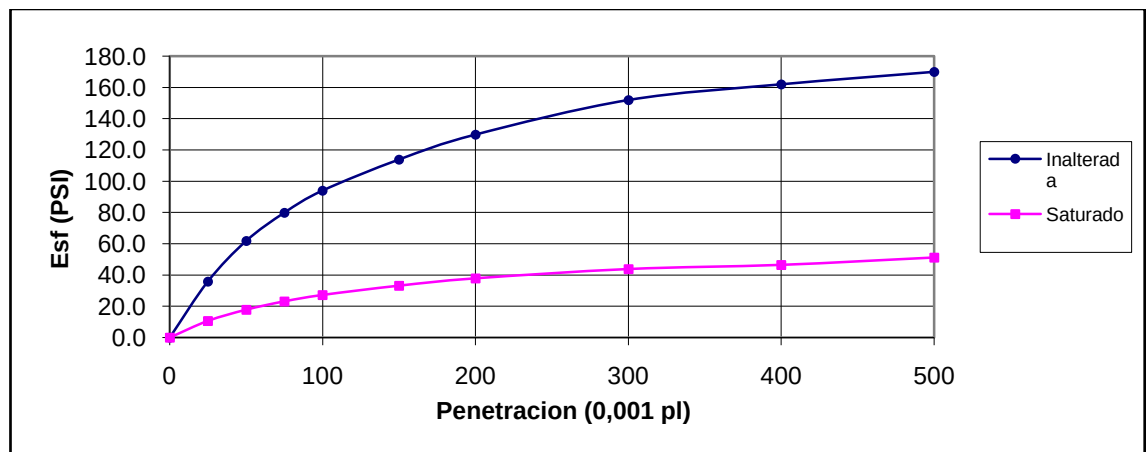
Apique 1, muestra 2

Constante del anillo: 2

Localización: K0+300

Profundidad: 0.55-1.20 m

muestra #	INALTERADA	SATURADA	Humedad	1	2
Penetración 0,001 pl	Lectura anillo de carga			ESFUERZO (PSI)	
0	0	0	Inalterada	0.0	0.0
25	54	16	40.98	36.0	10.7
50	93	27	30.77	62.0	18.0
75	120	35	8.05	80.0	23.3
100	141	41	Saturado	94.0	27.3
150	171	50	57	114.0	33.3
200	195	57	44.98	130.0	38.0
300	228	66	21.68	152.0	44.0
400	243	70		162.0	46.7
500	255	77		170.0	51.3
C.B.R % 0,1 pl				9.4	2.7
C.B.R % 0,2 pl				8.7	2.5
HUMEDAD %	44.9	51.6	Peso unitario total (g/cm ³)	1.74	
Dia	27 10 2010	28 10 2010	29 10 2010	30 10 2010	2 11 2010
Lectura exp (10 ⁻³ pl)	780	750	730	727	727
% expansión		0.6	1	1.06	1.06



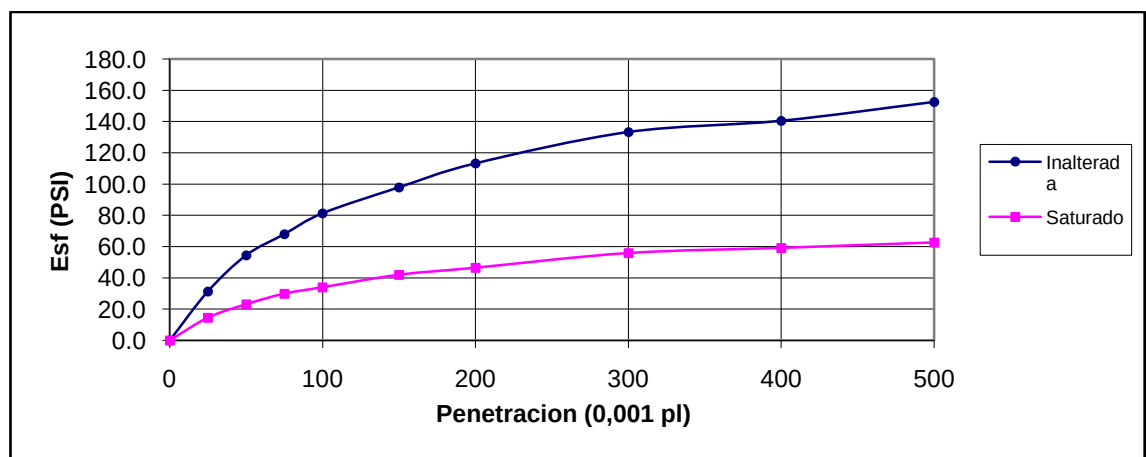
Apique 2, muestra 3

Constante del anillo: 2

Localización: K0+800

Profundidad: 0.65-1.00 m

muestra #	INALTERADA	SATURADA	Humedad	1	2
Penetración 0,001 pl	Lectura anillo de carga			ESFUERZO (PSI)	
0	0	0	Inalterada	0.0	0.0
25	47	22	46.51	31.3	14.7
50	82	35	37.58	54.7	23.3
75	102	45	12.45	68.0	30.0
100	122	51	Saturado	81.3	34.0
150	147	63	57.22	98.0	42.0
200	170	70	45.69	113.3	46.7
300	200	84	18.95	133.3	56.0
400	211	89		140.7	59.3
500	229	94		152.7	62.7
C.B.R % 0,1 pl				8.1	3.4
C.B.R % 0,2 pl				7.6	3.1
HUMEDAD %	35.5	43.1	Peso unitario total (g/cm ³)	1.84	
Día	27 10 2010	28 10 2010	29 10 2010	30 10 2010	2 11 2010
Lectura exp (10 ⁻³ pl)	547	531	504	475	470
% expansión		0.32	0.86	1.44	1.54



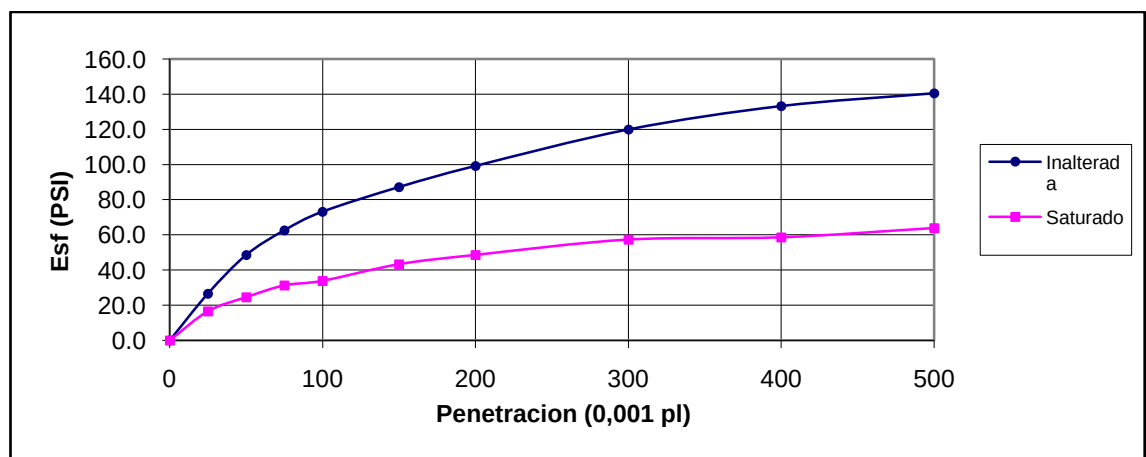
Apique 3, muestra 2

Constante del anillo: 2

Localización: K1+350

Profundidad: 0.45-1.10 m

muestra #	INALTERADA	SATURADA	Humedad	1	2
Penetración 0,001 pl	Lectura anillo de carga			ESFUERZO (PSI)	
0	0	0	Inalterada	0.0	0.0
25	40	25	43.29	26.7	16.7
50	73	37	33.68	48.7	24.7
75	94	47	8.25	62.7	31.3
100	110	51	Saturado	73.3	34.0
150	131	65	50.24	87.3	43.3
200	149	73	41.65	99.3	48.7
300	180	86	21.58	120.0	57.3
400	200	88		133.3	58.7
500	211	96		140.7	64.0
C.B.R % 0,1 pl				7.3	3.4
C.B.R % 0,2 pl				6.6	3.2
HUMEDAD %	37.8	42.8	Peso unitario total (g/cm ³)	1.67	
Día	27 10 2010	28 10 2010	29 10 2010	30 10 2010	2 11 2010
Lectura exp (10 ⁻³ pl)	668	654	612	600	591
% expansión		0.28	1.12	1.36	1.54



Apique 7, muestra 2

Constante del anillo: 2

Localización: K4+600

Profundidad: 0.50-1.00 m

muestra #	INALTERADA	SATURADA	Humedad	1	2
Penetración 0,001 pl	Lectura anillo de carga			ESFUERZO (PSI)	
0	0	0	Inalterada	0.0	0.0
25	49	22	38.25	32.7	14.7
50	84	30	32.65	56.0	20.0
75	110	40	9.52	73.3	26.7
100	131	45	Saturado	87.3	30.0
150	157	57	58	104.7	38.0
200	178	66	45.62	118.7	44.0
300	206	71	20.14	137.3	47.3
400	220	80		146.7	53.3
500	238	84		158.7	56.0
C.B.R % 0,1 pl				8.7	3.0
C.B.R % 0,2 pl				7.9	2.9
HUMEDAD %	24.2	48.6	Peso unitario total (g/cm ³)	1.79	
Día	27 10 2010	28 10 2010	29 10 2010	30 10 2010	2 11 2010
Lectura exp (10 ⁻³ pl)	752	712	687	658	633
% expansión		0.8	1.3	1.88	2.38

