



Universidad Santo Tomás
Especialización Patología de la Construcción
Trabajo Práctico Integrado (TPI)

**ESTUDIO PATOLÓGICO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PASO NACIONAL POR
IPIALES CARRETERA GUACHUCAL - IPIALES PR 21+800 – PR 23+800.
CARRERA 7 ENTRE CALLES 24 Y 34 IPIALES (NARIÑO)**

**Andrés Geovanny Hillón Sarmiento
Víctor Hugo López Guamantica
Ángela María Ortega Moreno**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SAN JUAN DE PASTO
2017**



Universidad Santo Tomás
Especialización Patología de la Construcción
Trabajo Práctico Integrado (TPI)

**ESTUDIO PATOLÓGICO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PASO NACIONAL POR
IPIALES CARRETERA GUACHUCAL - IPIALES PR 21+800 – PR 23+800.
CARRERA 7 ENTRE CALLES 24 Y 34 IPIALES (NARIÑO)**

Trabajo practico integrado presentado para optar el Título de Especialista en Patología de la
Construcción.

**Andrés Geovanny Hillón Sarmiento
Víctor Hugo López Guamantica
Ángela María Ortega Moreno**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SAN JUAN DE PASTO
2017**



Nota de aceptación:

I.C. Miguel Ángel Granados Peñaranda
Revisor trabajo practico integrado (TPI)

Jurado trabajo practico integrado (TPI)

Jurado trabajo practico integrado (TPI)

San Juan de Pasto, mayo de 2017.



TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	19
1.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. JUSTIFICACIÓN	20
2.1. SOCIAL.....	20
2.2. ECONÓMICA	20
2.3. AMBIENTAL.....	21
3. ALCANCE Y DELIMITACIONES	22
4. MARCO TEÓRICO	23
4.1. ANTECEDENTES	23
4.2. PAVIMENTO RÍGIDO	24
4.2.1. Elementos de un pavimento rígido	25
4.2.1.1. Losa de concreto hidráulico	25
4.2.1.2. Capa de sub-base	25
4.2.1.3. Subrasante	26
4.2.1.4. Barras de amarre.....	27
4.2.1.5. Barras pasajuntas (Dovelas - pasadores)	27
4.2.1.6. Sellado para juntas.....	28
4.2.1.7. Texturizado (micro y macro)	29
4.2.2. Mecanismos de transferencia de carga y confinamiento	30
4.2.2.1. Transferencia de carga.....	30
4.2.2.2. Confinamiento lateral	31
4.2.3. Ventajas y desventajas del pavimento rígido	31
4.3. TIPOS DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	32
4.3.1. Grieta de esquina (GE)	32
4.3.2. Grieta longitudinal (GL)	33
4.3.3. Grieta transversal (GT).....	34
4.3.4. Grietas en bloque o fracturación múltiple (GB).....	35
4.3.5. Grietas en pozos y sumideros (GA)	35
4.3.6. Desportillamiento de juntas (DPT, DPL).	36
4.3.7. Cabezas duras (CD).....	37
5. METODOLOGÍA.....	38
5.1. CONSULTA Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN	38
5.1.1. Historia clínica	39
5.1.2.1. Sintomatología	39
5.1.2.2. Antecedentes	40



5.2. PERMISOS Y AUTORIZACIONES PARA ANALIZAR EL PACIENTE	42
5.3. INVENTARIO DE DAÑOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	42
5.3.1. Inventario de daños sobre la estructura del pavimento	42
5.3.2. Procesamiento de datos y análisis de resultados de la inspección visual	45
5.3.2.1. Índice de condición del pavimento (PCI – Pavement Condition Index)	47
5.4. CONTEO DE TRÁNSITO	51
5.4.1. Aforo manual de tránsito por una semana	51
5.5. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO PARA SUELOS Y CONCRETO	52
5.5.1. Introducción	52
5.5.2. Objetivos.....	52
5.5.3. Características del lugar y de la estructura	53
5.5.4. Descripción área del proyecto.....	53
5.5.5. Investigación del subsuelo y laboratorios	54
5.5.6. Informe fotográfico	56
5.5.6.1. Informe fotográfico - exploraciones a cielo abierto (apiques).....	56
5.5.6.2. Informe fotográfico - Penetrómetro dinámico de cono (PDC).....	58
5.5.6.3. Informe fotográfico - Toma de núcleos de concreto	60
5.5.7. Descripción e identificación de los diferentes estratos del subsuelo.....	62
5.5.8. Toma de núcleos losa pavimento de concreto rígido	64
5.5.9. Cálculo de la resistencia a la flexión a partir de la resistencia a la compresión	67
5.5.10. Análisis para el chequeo de la estructura del pavimento.....	68
5.5.11. Proceso de recopilación de información en el campo	70
5.5.12. Almacenamiento y presentación de datos e información	71
5.5.13. Análisis de resultados de las exploraciones de campo	71
5.6. PRUEBA DE FENOLFTALEÍNA	74
5.7. LOCALIZACIÓN POSICIONAMIENTO DE DOVELAS	76
5.8. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE REDISEÑO Y CHEQUEO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	78
5.8.1. Chequeo de diseño por el método de la PCA y por la metodología AASHTO 93	78
5.8.2. Modelo de la estructura de pavimento.....	79
5.8.3. Análisis de resultados del chequeo de diseño de la estructura del pavimento.....	79
6. DIAGNÓSTICO.....	81
7. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	82
7.1. CONSIDERACIONES DE LA METODOLOGÍA.....	82
7.1.1. Objetivos.....	83
7.1.2. Alcances de la intervención	83
7.2. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO	84
7.2.1. Intervención tipo superficial	84
7.2.2. Intervención tipo estructural	85
8. ANÁLISIS DE COSTOS Y PRESUPUESTO DE INTERVENCIÓN	88



9. CONCLUSIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
WEBGRAFÍA	96
NORMAS DE REFERENCIA	96



ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema de losas de concreto simple	24
Figura 2. Elementos de un pavimento rígido	25
Figura 3. Vista en planta - Canastilla pasajuntas en juntas transversales de contracción.....	27
Figura 4. Detalle constructivo de la junta	29
Figura 5. Transferencia de carga	30
Figura 6. Comportamiento estructural de un pavimento rígido	31
Figura 7. Grieta de esquina (GE).....	32
Figura 8. Grieta longitudinal (GL)	33
Figura 9. Grieta transversal (GT)	34
Figura 10. Grietas en bloque o fracturación múltiple (GB)	35
Figura 11. Grietas en pozos y sumideros (GA)	36
Figura 12. Desportillamiento de juntas (DPT, DPL).....	36
Figura 13. Cabezas duras (CD)	37
Figura 14. Localización de la zona de influencia del proyecto	38
Figura 15. Formato 1 – Ficha de inspección visual de pavimento rígido	42
Figura 16. Representación gráfica modelo para toma de datos	43
Figura 17. Estructura general pavimento en concreto rígido	53
Figura 18. Geología municipio de Ipiales – Planchas 447 Ipiales y 447BIS Tallambí	54
Figura 19. Localización exploraciones de campo - excavaciones a cielo abierto (apiques).....	55
Figura 20. Localización exploraciones de campo - penetrómetro de cono dinámico PDC	56
Figura 21. Estratigrafía Apiques A-1 a A-2	63
Figura 22. Estratigrafía Apiques A-3 a A-6.....	64
Figura 23. Localización toma de núcleos losa pavimento rígido tramo vial en estudio	65
Figura 24. Modelo geotécnico para chequeo estructura de pavimento rígido a partir de apiques (excavaciones a cielo abierto con recuperación de muestras).....	69
Figura 25. Modelo geotécnico para chequeo y diseño estructura de pavimento rígido a partir de PDC'S (CBR de campo sin recuperación de muestras) y CBR de laboratorio Método I.....	69



Figura 26.	Tonalidades de referencia ensayo de la fenolftaleína	74
Figura 27.	Especificaciones técnicas detector de metales.	77
Figura 28.	Modelo de la estructura del pavimento	79
Figura 29.	Limites de reparación total profunda de acuerdo al nivel de severidad.....	85
Figura 30.	Sección transversal - modelo de intervención	86
Figura 31.	Detalle dovelas y barras de amarre – modelo de intervención.....	86

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1.	Micro texturizado con yute..... 29
Fotografía 2.	Macro texturizado con peine, sentido transversal..... 30
Fotografía 3.	Ausencia de confinamiento año 2010. 40
Fotografía 4.	Ausencia de confinamiento año 2010. 40
Fotografía 5.	Estado de la vía sector Cra 7 entre calles 24 y 25, a inicios de la demolición antigua planta de Bavaria - 2013..... 41
Fotografía 6.	Panorámica construcción Gran Plaza Ipiales – 2014. 41
Fotografía 7.	Estado actual de la vía sector Cra 7 entre calles 24 y 25 con visibles daños 41
Fotografía 8.	Grieta longitudinal, grieta transversal y grieta en bloque..... 44
Fotografía 9.	Grieta en esquina, grieta en pozos, desportillamiento de juntas 45
Fotografía 10.	Cadezas duras..... 45
Fotografía 11.	Apique A-1 (Esquina Centro Comercial Gran Plaza – esquina) 56
Fotografía 12.	Apique A-2 (Carrera 7 sobre calle 29A) 57
Fotografía 13.	Apique A-3 (Carrera 7 sobre calle 30) 57
Fotografía 14.	Apique A-4 (Carrera 7 sobre calle 31) 57
Fotografía 15.	Apique A-5 (Carrera 7 sobre calle 32) 58
Fotografía 16.	Apique A-6 (Carrera 7 sobre calle 34) 58
Fotografía 17.	PDC 1, PDC 2 y PDC 3 (Carrera 7 entre calles 24 y 25) 58
Fotografía 18.	PDC 4, PDC 5 y PDC 6 (Carrera 7 entre calles 25 y 26) 59
Fotografía 19.	PDC 7, PDC 8 y PDC 9 (Carrera 7 entre calles 26 y 28) 59
Fotografía 20.	PDC 10, PDC 11 y PDC 12 (Carrera 7 entre calles 28 y 30) 59
Fotografía 21.	PDC 13 y PDC 14 (Carrera 7 entre calles 30 y 34) 60
Fotografía 22.	Núcleo 1, Núcleo 2 y Núcleo 3 (Carrera 7 entre calles 24 y 25) 60



Fotografía 23.	Núcleo 4, Núcleo 5 y Núcleo 6 (Carrera 7 entre calles 25 y 26)	60
Fotografía 24.	Núcleo 7, Núcleo 8 y Núcleo 9 (Carrera 7 entre calles 26 y 28)	61
Fotografía 25.	Núcleo 10, Núcleo 11 y Núcleo 12 (Carrera 7 entre calles 28 y 30)	61
Fotografía 26.	Núcleo 13 y Núcleo 14 (Carrera 7 entre calles 30 y 34)	61
Fotografía 27.	Núcleo 1, Núcleo 2 y Núcleo 3 (Carrera 7 entre calles 24 y 25)	66
Fotografía 28.	Núcleo 4, Núcleo 5 y Núcleo 6 (Carrera 7 entre calles 25 y 26)	66
Fotografía 29.	Núcleo 7, Núcleo 8 y Núcleo 9 (Carrera 7 entre calles 26 y 28)	66
Fotografía 30.	Núcleo 10, Núcleo 11 y Núcleo 12 (Carrera 7 entre calles 28 y 30)	67
Fotografía 31.	Núcleo 13 y Núcleo 14 (Carrera 7 entre calles 30 y 34)	67
Fotografía 32.	Núcleo 1, Núcleo 2 y Núcleo 3 (Carrera 7 entre calles 24 y 25)	75
Fotografía 33.	Localización de refuerzo transversal.....	76
Fotografía 34.	Mediciones para localización de refuerzo transversal.....	76
Fotografía 35.	Mediciones para localización de refuerzo transversal.....	76

ÍNDICE DE GRÁFICAS

pág.

Gráfica 1.	Resumen general del número de placas deterioradas	47
Gráfica 2.	Resumen general del número de placas deterioradas con respecto al nivel de severidad	47



ÍNDICE DE TABLAS

pág.

Tabla 1.	Diámetro, longitud y separación de las barras pasajuntas de acuerdo al espesor de la losa	28
Tabla 2.	Historia clínica del paciente.	39
Tabla 3.	Sectorización en cuerdas de la vía en estudio.	43
Tabla 4.	Tipos de daños y severidades en pavimentos rígidos.	44
Tabla 5.	Resumen general del número de placas deterioradas de la Cra 7 entre calles 24 y 34.....	46
Tabla 6.	Resumen de placas afectadas de acuerdo a deterioro y nivel de severidad.	46
Tabla 7.	Calificación de índice de condición del pavimento (PCI)	48
Tabla 8.	Calificación del PCI de la vía en estudio – Cra 7 entre calles 24 y 34 Ipiales (Nariño).....	49
Tabla 9.	Opciones de intervención de acuerdo a PCI	50
Tabla 10.	Pruebas de campo y laboratorio requeridos para el caso patológico de estudio.	50
Tabla 11.	Aforo vehicular – vía de estudio Carrera 7 entre calles 24 y 34, Ipiales – Nariño	51
Tabla 12.	Leyendas y descripción geología municipio de Ipiales, Planchas 447 Ipiales y 447 BIS Tallambí.....	54
Tabla 13.	Resumen de las exploraciones de campo realizadas	55
Tabla 14.	Valores de CBR para ser usados en el diseño de pavimento. DCP's en el tramo vial (Clasificación de calidad de subrasante de acuerdo a Bowles, 1981; Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil).....	62
Tabla 15.	Resumen resultados ensayos de laboratorio.....	63
Tabla 16.	Cuadro resumen resultados ensayo de núcleos de concreto losa en pavimento rígido.	65
Tabla 17.	Cálculo resistencia a la flexión del concreto a partir de la resistencia a la compresión.	68
Tabla 18.	Cuadro resumen resultados ensayo CBR de laboratorio método I.....	69
Tabla 19.	Chequeo desde el punto de vista granulométrico materiales de Afirmado, Sub base y Base de acuerdo a Norma INVIAS Artículos 311-13, 320-13 y 330-13, Apiques A-1 a A-6, tramo vial en estudio.....	70
Tabla 20.	Resultados indicador de pH disolución de fenolftaleína núcleos de concreto losa pavimento... 75	
Tabla 21.	Actividades de intervención recomendadas para el pavimento rígido de estudio.....	87
Tabla 22.	Actividades de intervención recomendadas para el pavimento rígido de estudio.....	88



LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A:** Solicitud y aprobación de permisos para estudio de la vía.
- ANEXO B:** Fichas técnicas de inventario de daños y registro fotográfico.
- ANEXO C:** Análisis para determinar el índice de condición del pavimento (PCI).
- ANEXO D:** Registro de aforo vehicular.
- ANEXO E:** Descripción del área del proyecto.
- ANEXO F:** Descripción e identificación de los diferentes estratos del subsuelo.
- ANEXO G:** Ensayos de campo y laboratorio.
- ANEXO H:** Registro fotográfico prueba de fenolftaleína.
- ANEXO I:** Chequeo estructural del pavimento
- ANEXO J:** Especificaciones técnicas para el desarrollo del proyecto de intervención.
- ANEXO K:** Presupuesto de obra, cronograma y flujo de caja.



RESUMEN

El presente estudio se trata del análisis patológico del pavimento rígido paso nacional por Ipiales carretera Guachucal - Ipiales PR 21+800 – PR 23+800 - ***Carrera 7 entre calles 24 y 34 Ipiales (Nariño).***

Para dar inicio al estudio, como primera etapa se elabora la historia clínica con base en la inspección visual, y posteriormente el inventario de daños para determinar las condiciones superficiales actuales del pavimento en estudio, de igual forma, se identifica y describe las lesiones (deterioros) con mayor predominancia y su nivel de severidad. Se realiza un análisis de las lesiones encontradas mediante la metodología del PCI (índice de condición del pavimento) con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad, tiene sobre la condición del estado de la vía en estudio.

Con la debida planeación, se realiza la toma de muestras y ensayos de laboratorio de geotecnia y materiales, con el propósito de encontrar los parámetros de chequeo de la estructura. De forma complementaria se realizaron aforos vehiculares para determinar el tránsito actual y proyección del tránsito futuro en las condiciones reales de la vía.

De acuerdo a la localización de las lesiones, sondeos, exploraciones, análisis de laboratorio efectuados a los materiales y modelación de la estructura del pavimento en concreto rígido, se procede a la fase de diagnóstico llegando al origen de la patología; se logró establecer que las causas reales del deterioro del mismo están relacionadas principalmente a causas mecánicas, en primer lugar debido a la ausencia de confinamiento lateral durante los primeros tres (3) años de operación de la vía, aspecto verificado como resultado del chequeo realizado al diseño de la estructura del pavimento, situación que provocó una fisuración prematura de las losas por el consumo por fatiga superior al 100%; y que aunado a la baja calidad (características físico-mecánicas) de los materiales de la capa de mejoramiento (sub-base), materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas del INVIAS; permitieron que durante los tres (3) primeros años de operación las grietas estén activas, y en algunos sectores donde presentaron grietas con mayor severidad (media y alta) la filtración de aguas de escorrentía fue inevitable, dejando expuesto al pavimento a un deterioro progresivo, al no tener la suficiente capacidad para soportar las cargas para las que



fue diseñado. Cabe aclarar que, para el caso de grietas calificadas con severidad baja, si bien es cierto éstas se presentaron dentro de los tres (3) primeros años, las mismas no evolucionaron a estados más severos, esto bajo la explicación de que una vez se construyeron andenes (confinamiento) el chequeo de la estructura en condiciones actuales indica que la misma es competente ante las solicitudes.

En este sentido, la intervención de rehabilitación que se propone realizar es de tipo superficial y de tipo estructural. La rehabilitación de tipo superficial consiste en el resellado y reparación de juntas (reparación a profundidad parcial) con ancho inferior a 12 mm, y sello de grietas con severidad baja empleando asfaltos modificados, con el objetivo de evitar el ingreso de agua y elementos incompresibles hacía la base. Y en la rehabilitación de tipo estructural, teniendo en cuenta que el material de sub-base presenta déficit de calidad y de que algunas losas presentan un alto grado de deterioro, se propone reemplazar la losa de concreto rígido y el material de sub-base, esta intervención se ejecutará en las losas afectadas con grietas (*longitudinal, transversal, de esquina, en bloque, y grietas en pozos y sumideros*) que presenten un nivel de severidad alto y medio. Las intervenciones de rehabilitación aquí propuestas, se ejecutarán teniendo en cuenta el registro de inventario de daños de este estudio (Anexo B).

Finalmente, se realiza un presupuesto de la misma, mostrando el cronograma de actividades, el flujo de caja y el análisis de precios unitarios.



PALABRAS CLAVES:

Patología.

Historia clínica.

Diagnóstico.

Severidad.

Lesión, deterioro, falla.

Causas mecánicas.

Confinamiento lateral.

Intervención.

Rehabilitación superficial.

Rehabilitación estructural.



ABSTRACT

The present study is about the pathological analysis of the rigid pavement in the national crossing by Ipiales, road Guachucal - Ipiales PR 21 + 800 - PR 23 + 800 - ***Carrera 7 between 24 and 34 Ipiales streets (deparment of Nariño).***

To begin the study, as a first step the clinical history is elaborated based on the visual inspection, and subsequently the damage inventory to determine the current surface conditions of the pavement under study, similarly, it is identified and describes the damages (failures) with greater predominance and its level of severity. An analysis of the damages found using the PCI methodology (pavement condition index) is performed in order to indicate the degree of affectation that each combination of damage class, severity level and density has on the condition of the state of the road in study.

With the proper planning, the sampling and laboratory tests of geotechnics and materials were performed out, in order to find the parameters for checking the structure. Additionally, vehicular traffic countings were performed out to determine the current traffic and projection of future traffic in the actual road conditions.

According to the location of the lesions, probing, explorations, laboratory analysis executed to the materials and modeling of the structure of the pavement in rigid concrete, proceed to of the diagnostic phase, reaching at the origin of the pathology; it was established that the actual causes of the deterioration of the same are related to mechanical causes. Firstly, due to the lack of lateral confinement during the first three (3) years of track operation, an aspect verified as a result of the check made to the design of the pavement structure, a situation that caused a premature cracking of the slabs by the fatigue consumption greater than 100%; and that combined with the low quality (physical-mechanical characteristics) of the materials of the improvemen layer (subbase), materials that do not comply with technical specifications of the INVIAS; allowed that cracks to be active during the first three (3) years of operation, and in some sectors where the cracks with more severity (medium and high) were found, filtration of runoff water was inevitable, leaving the pavement exposed to a progressive deterioration, to the not have sufficient capacity to support the loads for which it was designed. It should be clarified that, in the case of cracks with low severity, although they were present within the first three (3) years, they did not evolve to more severe states,



this being explained by the fact that once they were built the sidewalks (confinement), the checking of the structure under current conditions indicates that the structure is competent to the solicitations.

In this sense, the rehabilitation intervention proposed is a superficial and structural type. The superficial type rehabilitation consists of the resealing and repair of joints (partial depth repair) with a width of less than 12 mm, and seal of cracks with low severity using modified asphalts, in order to avoid the entrance of incompressible elements and water at base. And in the rehabilitation of structural type, taking into account that the sub-base material presents quality deficit and that some slabs present a high degree of deterioration, it is proposed to replace the rigid concrete slab and the subbase material, this intervention will be performed on slabs affected by cracks (liner cracking, transverse, corner break, divide slab, and cracks in wells and sinks) that have a high and medium severity level. The rehabilitation interventions proposed here, will be implemented taking into account the damage inventory record of this study (Annex B).

And finally, a budget is performed, showing the activity schedule, the cash flow and the unit price analysis.



KEY WORDS:

Pathology.

Clinic history.

Diagnosis.

Severity.

Lesion, deterioration, failure.

Mechanical causes.

Lateral confinement.

Intervention.

Surface rehabilitation of pavement.

Structural rehabilitation.



INTRODUCCIÓN

Los diseños de pavimento de vías urbanas son un complejo campo de acción de la ingeniería, puesto que ellos demandan tener en cuenta no solo los factores propios matemáticos del diseño, sino también el impacto social, económico y ambiental que el mismo pueda generar mediante la alteración del espacio. Por lo tanto, teniendo en cuenta las implicaciones, se requiere la aplicación de las metodologías propias del diseño de pavimentos que garanticen un mínimo impacto que afecten el sector, de igual manera que avalen la vida útil de la estructura y su serviciabilidad dentro del rango de diseño.

La vía en estudio está localizada en el sector occidental del casco urbano del municipio de Ipiales, es paso nacional de la vía Rumichaca - Guachucal y demás municipios nor-occidentales del departamento de Nariño, vía que comunica la sierra con la costa Nariñense; su área de influencia ha sido modificada al pasar de ser una zona residencial a convertirse en una zona comercial e industrial con llevando a un desarrollo urbano acelerado sobre este sector.

La red vial urbana de Ipiales presenta déficit en cuanto a su conectividad y apertura de nuevas vías generando en el centro de la ciudad conflictos de movilidad y altos tiempos de recorrido para el transporte público y particular, por tal motivo la vía en estudio es paso obligado principalmente para la población flotante (turistas y comerciantes).

En los últimos años se ha evidenciado sobre la estructura en estudio un acelerado incremento de daños y lesiones en las losas de pavimento relacionadas con fracturas, desgaste, pérdida de sello de juntas entre otras lesiones a estudiar mediante pruebas y ensayos *in situ* durante el desarrollo de este trabajo práctico.

Se evaluará y analizará las lesiones presentes, ofreciendo un diagnóstico acorde para la estructura del pavimento, para determinar la alternativa de intervención más apropiada y pertinente desde el punto de vista económico.



1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio patológico del pavimento rígido paso nacional por Ipiales carretera Guachucal - Ipiales PR 21+800 – PR 23+800. Carrera 7 entre calles 24 y 34 Ipiales (Nariño).

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la historia clínica del paciente en estudio.
- Elaborar las fichas de inventario de daños sobre la estructura del pavimento.
- Realizar exploraciones de campo para identificar la estratigrafía y estructura del pavimento.
- Realizar extracción de núcleos a la placa del pavimento con el fin de determinar la resistencia a la compresión del concreto.
- Presentar un diagnóstico del estado del pavimento en el tramo en estudio.
- Analizar los resultados obtenidos a partir de los diferentes ensayos realizados y establecer una relación entre los parámetros encontrados con la lesión o lesiones predominantes.
- Determinar los parámetros de rediseño y chequeo de la estructura del pavimento en el tramo en estudio.
- Presentar la propuesta de intervención de la estructura del pavimento en el tramo en estudio.
- Diseñar especificaciones técnicas para desarrollo del proyecto de intervención de la estructura del pavimento en el tramo en estudio.



2. JUSTIFICACIÓN

2.1. SOCIAL

El paulatino crecimiento del tránsito que se viene presentando en el municipio de Ipiales sumado a una interconexión vial urbana no adecuada, son un indicativo de la importancia que tiene la vida útil del proyecto en mención y el aprovechamiento de los recursos destinados para mejoramiento de la infraestructura vial urbana.

Con base en lo anterior, se tiene como prioridad mantener este importante corredor en un estado de funcionamiento que no altere la capacidad ni la velocidad de diseño en los tramos, lo cual redundará en la no afectación del flujo vehicular, por tal motivo, el presente trabajo de aplicación pretende ser una base sólida como una propuesta de intervención.

La propuesta de intervención debe contribuir con la conservación de la infraestructura vial, para el desarrollo socio – económico de los habitantes en la zona de influencia, la cual tiene un auge comercial, de servicios y habitacional.

Con un adecuado control de daños y avance del deterioro, se pretende brindar comodidad a los usuarios y sensación urbanística.

2.2. ECONÓMICA

Con base en las condiciones cambiarias de divisa, que han devaluado al peso colombiano frente al dólar americano, se han generado las condiciones propicias para un crecimiento económico del sector comercial en la ciudad de Ipiales, los turistas y visitantes provenientes del Ecuador, obtienen productos y servicios a precios favorables.

Por lo anterior, el casco urbano, específicamente el sector dentro de la zona de estudio, ha incrementado el número de locales comerciales, edificios de vivienda y en menor cantidad de pequeña industria; generando un polo de desarrollo económico que depende de la accesibilidad a dichos establecimientos, y por ende de la conservación de la infraestructura vial.



La vía objeto de estudio sirve de paso obligado en la movilización de carga desde y hacia los municipios del nor-occidente del departamento de Nariño y hacia la costa del mismo. De forma complementaria, esta vía conduce al aeropuerto de Ipiales, recientemente ampliado y proyectado a convertirse en central aérea de carga y de pasajeros de orden internacional.

2.3. AMBIENTAL

La degeneración paulatina de la vía, ocasionada por el tránsito y el detrimento del comportamiento estructural del pavimento, conllevarían a un agotamiento temprano de la vida útil de la misma, de tal manera que la serviciabilidad llegaría a niveles críticos, teniendo como única alternativa la reposición total de la infraestructura vial.

Lo anterior, ocasiona la ejecución de actividades de demolición de losa de pavimento, con cierres de vías, generación de ruido por la maquinaria y martillos neumáticos, incremento de polvo de partículas finas (cemento), contaminación visual y en mayor impacto negativo al ambiente, la generación de escombros provenientes de la demolición de la losa de pavimento que en el medio son de muy bajo porcentaje de reutilización que ocasiona a su vez escombreras que desaprovechan los terrenos aptos para otro tipo de actividad económica.

En resumen, es claro que la no implementación de alguna alternativa de intervención, promueve la contaminación desde diferentes puntos de vista, en mayor o menor impacto negativo, que van en contra de la calidad de vida de los habitantes y del ambiente.



3. ALCANCE Y DELIMITACIONES

Se efectuaron los pasos contemplados en la sección 5 (metodología) del presente documento, teniendo en cuenta que se determinarán las causas de daños y lesiones de la estructura de pavimento en estudio. Además, se establecerá una propuesta de intervención que detenga el deterioro acelerado del pavimento.

El presente estudio se centrará específicamente en el análisis técnico, sin profundizar en aspectos socio – económicos y legales.

De forma preliminar se ha realizado consulta y socialización de la metodología y alcance del estudio propuesto, con la administración municipal de Ipiales, específicamente con el equipo técnico de las oficinas de Planeación e Infraestructura. De tal manera que se ha obtenido los permisos necesarios para el desarrollo del trabajo con la condición de que se comunique y presente la programación de las visitas y exploraciones de campo, con el objeto de supervisar los trabajos y contemplar controles al tránsito para seguridad del personal a cargo.



4. MARCO TEÓRICO

4.1. ANTECEDENTES

En el año 2007 la administración municipal de Ipiales, por medio de la Secretaría de Planeación y previa formalización de un convenio interadministrativo con el Instituto Nacional de Vías INVIAS; realizó la ejecución por administración directa de la obra en estudio.

La vía original tenía capa de rodadura en asfalto en mal estado, la cual fue retirada, para las obras de reposición de redes de alcantarillado y aguas lluvias y posterior construcción de las capas de pavimento rígido.

Cabe resaltar que la obra se entregó a finales del 2007 (término de un periodo administrativo municipal), la cual no contó con la construcción de andenes, los cuales quedaron demolidos, con escombros y en algunos casos en material de afirmado. Solo hasta el año 2010, la administración realizó la construcción de dichos andenes en la totalidad del proyecto, lapso de tiempo en el cual la estructura quedó en condiciones de “sin berma”, situación que como se verá más adelante, ha sido determinante en el comportamiento del pavimento.

El sector se convirtió a partir de esa fecha, en foco de desarrollo económico, puesto que se construyeron gran cantidad de comercios y establecimientos de prestación de servicios. Además, la construcción de un centro comercial en las antiguas instalaciones de la planta de la cervecera Bavaria. Esto se ha traducido en un aumento de tráfico vehicular por el tramo en estudio, tanto pesado como liviano.

La obra no ha tenido intervenciones de mantenimiento o conservación más que la reposición de dos rejillas de concreto en sumideros.

Dentro de este estudio fue imposible encontrar documentación de diseños, contratos, convenio o información oficial que permita establecer las condiciones originales de diseño y construcción.

4.2. PAVIMENTO RÍGIDO¹

Un pavimento es una estructura horizontal capaz de soportar las cargas que le transmiten las ruedas de los vehículos. Además de tener en cuenta las necesidades particulares de cada proyecto, un pavimento debe cumplir con los requisitos básicos de ser durable, seguro, confortable y económico.

El tipo de pavimento rígido de la vía en estudio corresponde a **losas de concreto simple**, este sistema utiliza placas de concreto sin refuerzo, las juntas de contracción transversal son en general construidas a intervalos en 3 y 4 metros (Figura 1), con el objetivo de controlar las fisuras de las losas. Estas se unen mediante dovelas o barras de transferencia colocadas en las juntas transversales asegurando la transferencia de carga entre estas; además se estima que contiene barras de anclaje en las juntas longitudinales en dirección perpendicular al eje de la vía².

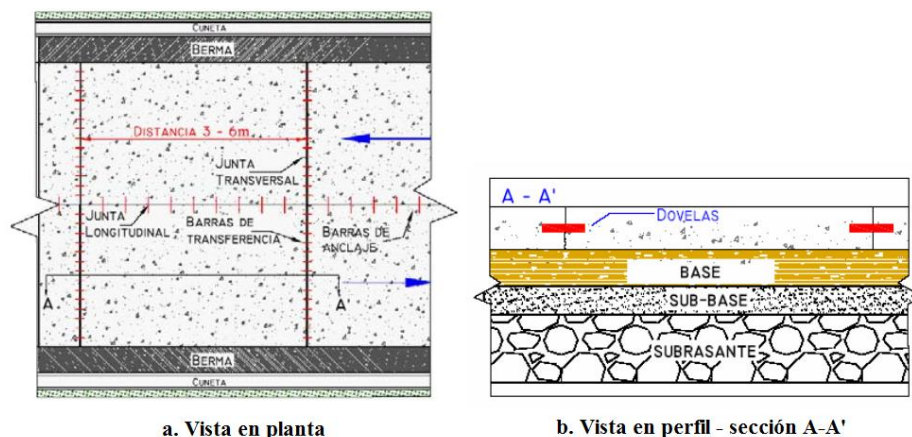


Figura 1. Esquema de losas de concreto simple

Fuente: INVIAS, 2006.

¹ Tomado de, ALTAMIRANO Luis. 2007. DETERIORO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, p6.

² Tomado de, INVIAS. 2006. MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTO RÍGIDOS, p8.

4.2.1. Elementos de un pavimento rígido

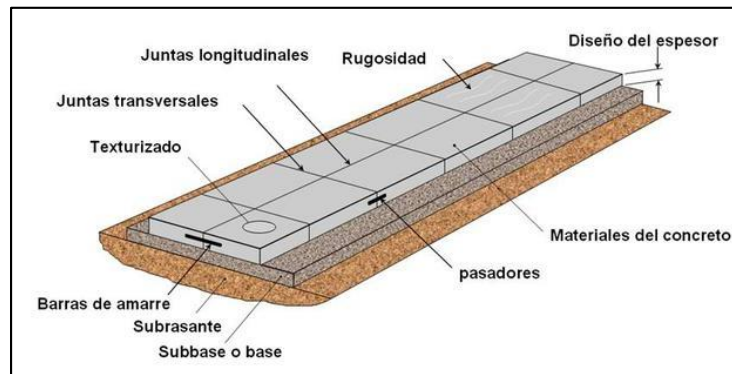


Figura 2. Elementos de un pavimento rígido
Fuente: Duravia (adaptado de ACPA).

4.2.1.1. Losa de concreto hidráulico³

Es la capa superior de la estructura de pavimento construida con concreto hidráulico, 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. Se puede indicar que el pavimento rígido distribuye mejor las cargas hacia la estructura del pavimento. (Altamirano, 2007: 8).

Los métodos de diseño especifican diseños de mezcla con un Módulo de Rotura a la flexión (MR) superiores a 42 kg/cm^2 , o su equivalente a $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

Aunque las metodologías de diseño podrían evaluar pavimentos de concreto con MR mayores a 50 Kg/cm^2 , lo mejor es no superar esta medida ya que las losas se vuelven muy rígidas y esto puede conducir a un micro-fisuramiento temprano debido al alto contenido de material cementante.

4.2.1.2. Capa de sub-base⁴

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la losa de concreto, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a

³ Tomado de, <http://www.duravia.com.pe/wp-content/uploads/COLECCIONABLE-DURAVIA-V.2.pdf> p7.

⁴ Tomado de, <http://www.duravia.com.pe/wp-content/uploads/COLECCIONABLE-DURAVIA-V.2.pdf> p6.



dicho suelo que puedan afectar la sub-base. La sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían perjudiciales para el pavimento. (Altamirano, 2007: 7).

La capa de sub-base está compuesta por materiales granulares de buena gradación. Esta debe ser perfilada y compactada entre el 95 y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo proctor estándar AASTHO T-99.

El empleo de sub-base implica una mejora en la capacidad de soporte de suelo que se traduce en una reducción del espesor de la losa de concreto. Sin embargo, el impacto no es significativo. El empleo de materiales granulares entre la subrasante y la capa de rodadura se debe entender desde el punto de vista de protección de la subrasante ante la pérdida de finos y para hacer más homogéneo el soporte donde se colocará la losa de concreto.

4.2.1.3. Subrasante⁵

Es el suelo de cimentación del pavimento pudiendo ser suelo natural, debidamente perfilado y compactado, o material de préstamo, cuando el suelo natural es deficiente o por requerimientos de diseño geométrico de la vía a proyectar.

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular, tales como: GW, GP, SW, SM, ML, o incluso SC, siempre que la arcilla no sea de alta plasticidad.

Antes de ser empleado debe ser perfilado y compactado entre el 95 y 100% de la máxima densidad seca obtenida con el ensayo del proctor estándar AASTHO T-99.

En el caso de presenta suelo conformado por suelos finos y plásticos, tales como: CL, MH, CH, CL-ML, con límite líquido (LL) entre 50 y 100% se analizará la necesidad de mejorarlo reduciendo su límite líquido para mejorar así el índice de plasticidad (IP). Si el suelo natural está conformado por suelo tipo MH, CH, y OH con límite líquido de 100% será reemplazado por material de préstamo en un espesor mínimo de 30 cm.

El espesor del 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

⁵ Tomado de, <http://www.duravia.com.pe/wp-content/uploads/COLECCIONABLE-DURAVIA-V.2.pdf>. p5.

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.

4.2.1.4. Barras de amarre⁶

En las juntas que muestre el proyecto y/o en los sitios que indique el diseñador del proyecto, se colocaran barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas en el sentido perpendicular al de circulación. Las barras de amarre serán de varilla corrugada, de acero estructural, con límite de fluencia (f_y) 4200 Kg/cm², debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y la posición indicada en el proyecto.

Estas barras siempre deberán estar colocadas a la mitad del espesor del pavimento, siendo por lo general de: 3/8, 1/2 o 5/8 de pulgada de diámetro; con longitudes que varían desde 50 cm hasta 100 cm, y que están espaciadas entre 50 y 100 cm.

4.2.1.5. Barras pasajuntas (Dovelas - pasadores)⁷

En las juntas transversales de contracción, en las juntas de construcción, en las juntas de emergencia y/o en los sitios que indique el supervisor del proyecto se colocaran barras pasajuntas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Ver figura3.

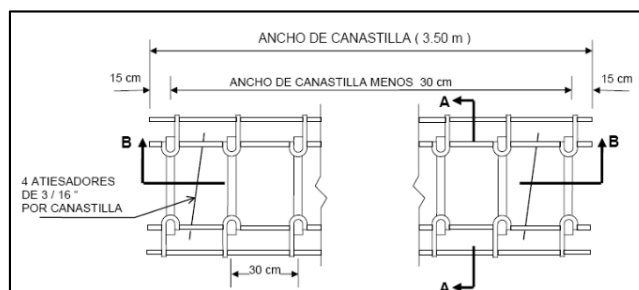


Figura 3. Vista en planta - Canastilla pasajuntas en juntas transversales de contracción

Fuente: Altamirano - 2007.

⁶ Tomado de, ALTAMIRANO Luis. 2007. DETERIORO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, p15.

⁷ Ídem.

Estas barras deberán quedar perfectamente alineadas con el sentido longitudinal del pavimento y con su plano horizontal, colocándose a la mitad del espesor de la losa. El acero debe cumplir con la norma ASTM A 615 Grado 60 ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$) y deberá ser recubierto con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida la adherencia del acero con el concreto, con el fin de **permitir el libre movimiento de las losas longitudinalmente, pero si debe transferir verticalmente parte de la carga aplicada en una losa a la adyacente.**

Las pasajuntas podrán ser instaladas por medios mecánicos, o bien por medio de la instalación de canastillas metálicas de sujeción. El diámetro, longitud y separación de las pasajuntas está en función del espesor de las losas principales, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 1. Diámetro, longitud y separación de las barras pasajuntas de acuerdo al espesor de la losa

Espesor de Losa		Barras Pasajuntas					
		Diámetro		Longitud		Separación	
cm	in	mm	in	cm	in	cm	in
13 a 15	5 a 6	19	3/4	41	16	30	12
15 a 20	6 a 8	25	1	46	18	30	12
20 a 30	8 a 12	32	1 1/4	46	18	30	12
30 a 43	12 a 17	38	1 1/2	51	20	38	15
43 a 50	17 a 20	45	1 3/4	56	22	46	18

Fuente: Altamirano – 2007.

4.2.1.6. Sellado para juntas⁸

El material sellante para las juntas transversales y longitudinales deberá ser elástico, resistentes a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes con el concreto y que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas sin degradarse, empleando productos a base de silicona, poliuretano – asfalto o similares, los cuales deberán ser autonivelantes, de un solo componente y solidificarse a temperatura ambiente. El material se deberá adherir a los lados de la junta o grieta con el concreto y así formar un sello efectivo contra la filtración de agua o incrustaciones de materiales incompresibles. Ver figura 4.

⁸ Ibídem, p17.

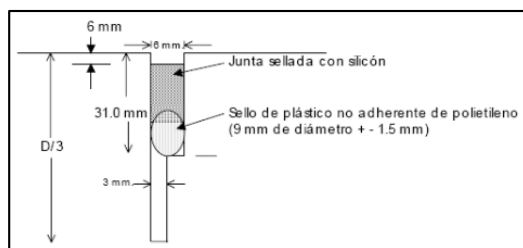


Figura 4. Detalle constructivo de la junta
Fuente: Altamirano – 2007.

La tirilla de respaldo a emplear debe impedir efectivamente la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta. La tirilla de respaldo tiene que ser de espuma de polietileno y de las dimensiones indicadas de acuerdo a las especificaciones técnicas. La tirilla debe ser compatible con el sellador de silicón a emplear y no deberá presentar adhesión alguna entre el silicón y la tirilla de respaldo.

4.2.1.7. Texturizado (micro y macro)⁹

El objetivo de texturizar la superficie de concreto es entregarle al pavimento las cualidades necesarias que logren el contacto neumático – pavimento y así permitir el tránsito de los vehículos de una forma segura (fotografía 1 y 2).

El micro texturizado es el que se logra aplicando una llana húmeda sobre la superficie del pavimento. El macro texturizado se logra mediante herramientas mecánicas como peines con cerdas metálicas o aparatos más sofisticados que pueden ser incorporados en el tren de pavimentado.



Fotografía 1. Micro texturizado con yute
Fuente: Blog Duravía

⁹ Tomado de, <http://www.duravia.com.pe/wp-content/uploads/COLECCIONABLE-DURAVIA-V.2.pdf>. p9.



Fotografía 2. Macro texturizado con peine, sentido transversal
Fuente: Blog Duravía

4.2.2. Mecanismos de transferencia de carga y confinamiento

Dependiendo del tipo de solicitaciones de carga de tránsito y del diseño geométrico de la vía, el pavimento contará de mecanismos de transferencia de cargas entre paños adyacentes y confinamiento lateral.

4.2.2.1. Transferencia de carga

Se puede dar mediante trabazón de los agregados o mediante el empleo de pasadores en las juntas de contracción transversal (Figura 5).

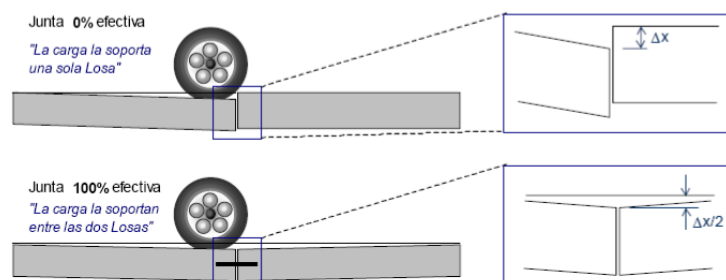


Figura 5. Transferencia de carga
Fuente: Altamirano – 2007.

Debido a la consistencia de la superficie de rodadura (losa de concreto hidráulico), se produce una buena distribución de cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante (Altamirano, 2007: 6). Ver figura 6.

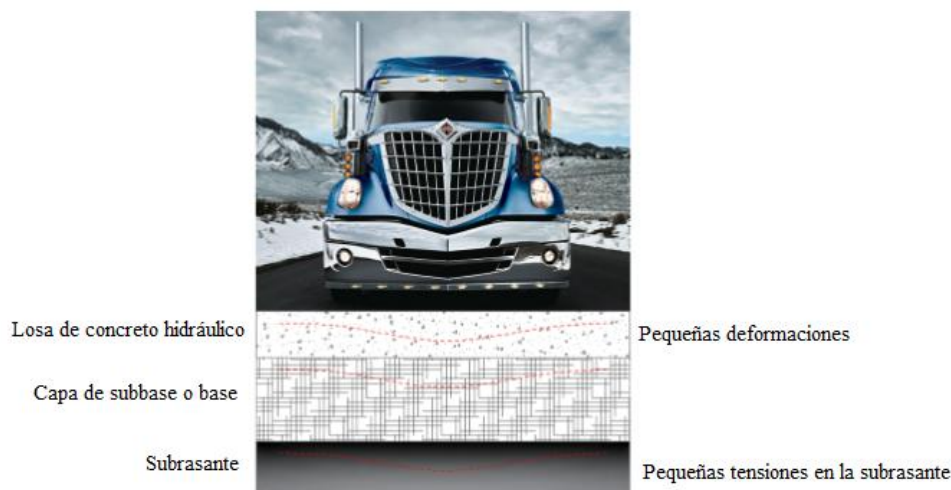


Figura 6. Comportamiento estructural de un pavimento rígido
Fuente: Altamirano, 2007.

4.2.2.2. Confinamiento lateral¹⁰

El confinamiento lateral es muy importante ya que controla las tensiones por flexión, así como las deflexiones en las losas. Las bermas son una forma de confinamiento que pueden ser: de concreto, como una extensión de pavimento, o independientes vinculadas o no vinculadas; de asfalto; o de material granular. Adicionalmente un mecanismo que aporta al confinamiento lateral es el empleo de barras de amarre.

4.2.3. Ventajas y desventajas del pavimento rígido¹¹

Los pavimentos rígidos se caracterizan por tener una buena rigidez por lo cual, le transmiten al suelo las cargas y esfuerzos en áreas muy grandes, además de ofrecer una alta resistencia al desgaste y de no presentar ahuellamiento en ninguna dirección.

- *Menor tiempo en su construcción.*
- *Mayor vida útil con alto índice de servicio.*
- *Mantenimiento mínimo.*
- *Requiere menor estructura de soporte.*

¹⁰ Tomado de: <http://www.duravia.com.pe/wp-content/uploads/COLECCIONABLE-DURAVIA-V.2.pdf>, p8.

¹¹ Tomado de, ALTAMIRANO Luis, 2007. DETERIORO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, p6.

Dentro de las desventajas, cuando se construyen sobre materiales erosionables contribuyen con las juntas y la alta rigidez a que se presente el fenómeno de bombeo que ocurre por la acción del paso de los vehículos y del agua principalmente en vías de tránsito medio y alto. Es importante tener en cuenta que los pavimentos son susceptibles al sub-diseño, o a la presencia de sobrecargas no contempladas en el estudio de tránsito.

Por otra parte, la calidad de la construcción de un pavimento rígido depende en gran medida de las características físicas, químicas y mecánicas de los materiales empleados, ya que estos influyen en la durabilidad y buen funcionamiento del pavimento, por lo tanto, estos materiales deben cumplir con las especificaciones técnicas que exigen las normas.

4.3. TIPOS DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS¹²

De acuerdo al *manual para la inspección visual de pavimento rígidos* del INVIAS (2006), a continuación, se define algunos de los tipos de daños que se puede presentar en un pavimento rígido:

4.3.1. Grieta de esquina (GE)

Descripción: figura 7, 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. Este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

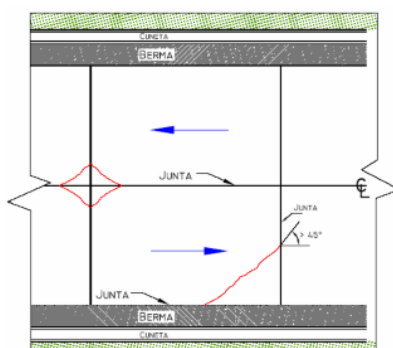


Figura 7. Grieta de esquina (GE)
Fuente: Invias – 2006.

¹² Tomado de, INVIAS 2006. MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTO RÍGIDO.

Posibles causas: las principales causas son:

- *Asentamiento de la base y/o 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.

4.3.2. Grieta longitudinal (GL)

Descripción: figura 8, 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. Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

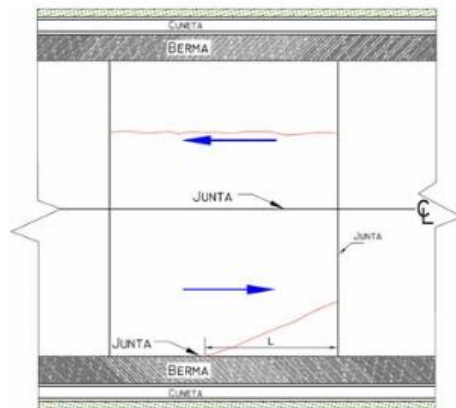


Figura 8. Grieta longitudinal (GL)

Fuente: Invias – 2006.

Posibles causas: entre las principales causas están:

- *Asentamiento de la base o de la subrasante.*
- *Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.*
- *Ausencia de confinamiento lateral.*
- *Alabeo térmico.*
- *Losa de ancho excesivo.*
- *Carencia de una junta longitudinal.*

- *Mal posicionamiento de dovelas y/o barras de anclaje.*
- *Aserrado tardío de la junta.*
- *Contracción del concreto.*

Evolución probable: los deterioros con mayor probabilidad de ocurrencia son:

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

4.3.3. Grieta transversal (GT)

Descripción: figura 9, grietas que se presentan perpendicularmente al eje de la circulación de la vía. Pueden extenderse desde la junta transversal hasta la junta longitudinal, siempre que la intersección con la junta transversal este a una distancia del borde (T) mayor que el ancho de la mitad de la losa y la intersección con la junta longitudinal se encuentra a una distancia inferior que la mitad del largo de losa (L). Este tipo de daño se presenta en todos los pavimentos rígidos.

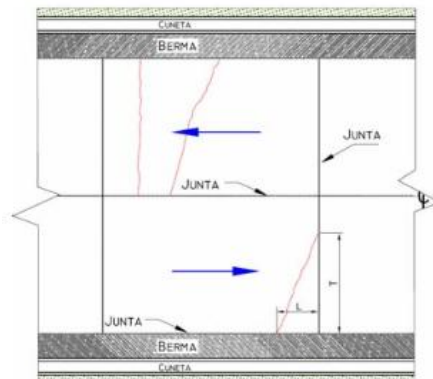


Figura 9. Grieta transversal (GT)

Fuente: Invias – 2006.

Posibles causas: las principales causas son:

- *Asentamiento de la base o de 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: como consecuencia de la aparición de estas grietas es probable que aparezcan grietas en bloque y también puede haber escalonamiento por la entrada de agua.

4.3.4. Grietas en bloque o fracturación múltiple (GB)

Descripción: figura 10, aparecen por la unión de las grietas longitudinales y transversales formando bloques a lo largo de la placa. Este grupo también comprenden las grietas en “Y”. Aunque se presentan en todos los tipos de pavimentos rígidos es más frecuente que se presenten en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

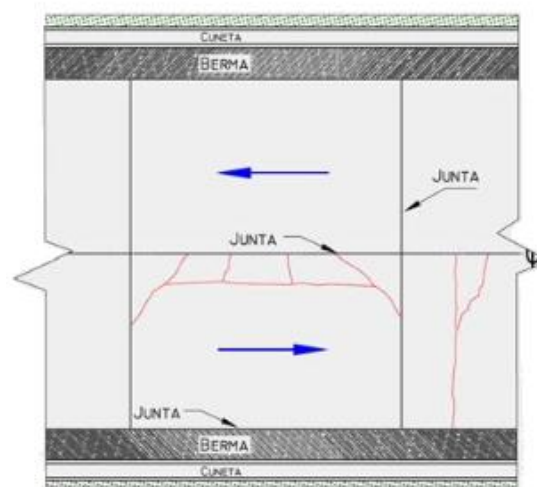


Figura 10. Grietas en bloque o fracturación múltiple (GB)

Fuente: Invia – 2006.

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.

Evolución probable: deterioro total de la estructura y/o hundimientos.

4.3.5. Grietas en pozos y sumideros (GA)

Descripción: figura 11, se presentan como una clasificación independiente, debido a que son grietas que están directamente relacionadas con la presencia del pozo o sumidero. Este tipo de deterioro se presenta en todos los pavimentos de pavimento rígido.

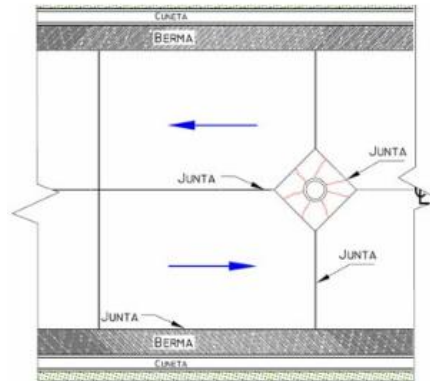


Figura 11. Grietas en pozos y sumideros (GA)
Fuente: Invias – 2006.

Posibles causas: se atribuye a la variación en la distribución de esfuerzos debida a la presencia de pozos y sumideros, estos 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, estas deben ser lo más regulares posibles, cuando hay formas irregulares estas se deben reforzar).

Evolución probable: bombeo y deterioro total de la losa.

4.3.6. Desportillamiento de juntas (DPT, DPL).

Descripción: figura12, desintegración de las aristas de una junta (longitudinal, transversal), con pérdida de trozos, que pueden afectar hasta 0.15 m (15mm) a lado y lado de la junta. Este tipo de deterioro se presenta en todos los tipos de pavimentos rígidos con juntas.

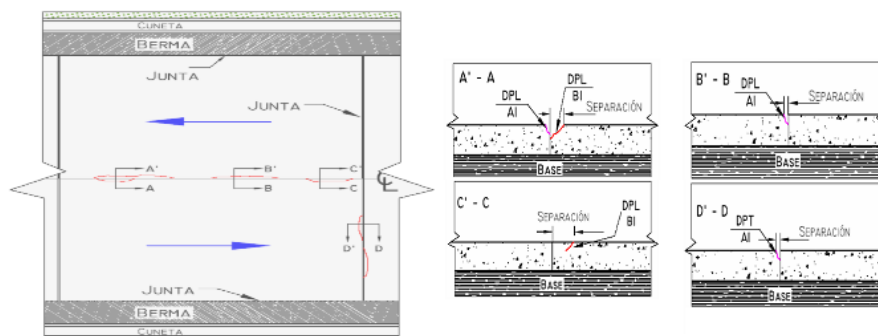


Figura 12. Desportillamiento de juntas (DPT, DPL)
Fuente: Invias – 2006.

Posibles causas: entre las principales causas están:

- *Desportillamiento 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 del corte de la junta.*
- *Aplicación de carga antes de conseguir la resistencia mínima recomendada del concreto.*

Evolución probable: entrada de agua a la base generando bombeo.

4.3.7. Cabezas duras (CD)¹³

Descripción: figura 13, corresponde a la presencia de agregados expuestos fuera del mortero arena-cemento, que pueden llegar a aumentar la rugosidad del pavimento, provocando ruido excesivo para el conductor.

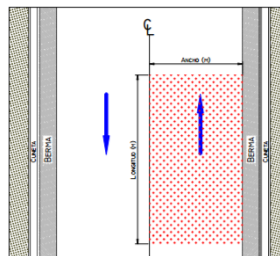


Figura 13. Cabezas duras (CD)

Fuente: Invias – 2006.

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 posibilidades:

- *Uso de agregados con tamaños inadecuados.*
- *Distribución granulométrica deficiente.*

Evolución probable: puede aumentar su grado de severidad hasta generar baches.

¹³ Tomado de, INVIAS 2006. MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, p18.

5. METODOLOGÍA

El objetivo general de éste trabajo practico integrado corresponde en realizar el estudio patológico del pavimento rígido paso nacional por Ipiales carretera Guachucal - Ipiales PR 21+800 – PR 23+800. Carrera 7 entre calles 24 y 34 Ipiales (Nariño). Los métodos de aplicación que se proceden a seguir para alcanzar los objetivos planteados son descriptivos, clasificatorios, estadísticos, hipotético-deductivo, procedimientos de medición y de diseño, obtención de resultados y discusión de ellos.

A continuación, se presenta el desarrollo y contenido de cada una de las etapas planteadas para la ejecución del análisis de la vía propuesta como paciente para el desarrollo de este trabajo practico integrado.

5.1. CONSULTA Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN

De acuerdo a la información suministrada y a la visita técnica de reconocimiento realizada sobre la vía en estudio, se registró los siguientes datos: Localización del paciente en estudio

La vía en estudio está localizada sobre la zona occidental del casco urbano del municipio de Ipiales (Nariño), correspondiendo a la nomenclatura urbana **carrera 7 entre calles 24 y 34**. Ver figura 14.

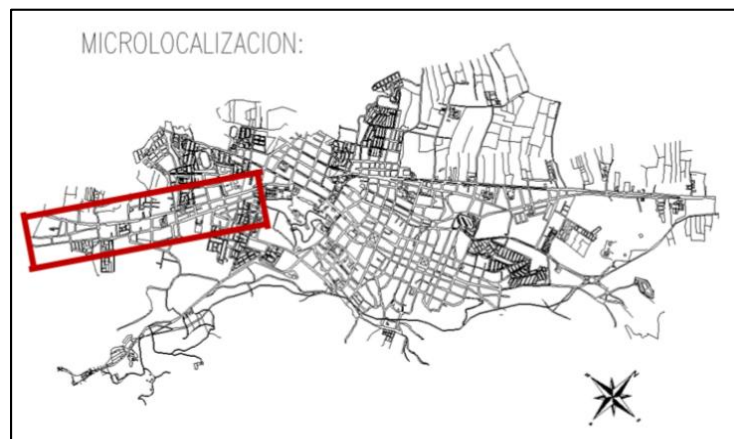


Figura 14. Localización de la zona de influencia del proyecto

Fuente: este estudio.



5.1.1. Historia clínica

5.1.2.1. Sintomatología

A nivel general se observa que la losa de concreto presenta grietas longitudinales, transversales, en bloque y en esquina; siendo la grieta longitudinal la más predominante, que a su vez presenta una incidencia sobre la línea de red de alcantarillado. De las 11 cuadras (sectorización), las losas de las cuadras 1, 2, 4 y 5 presentan un mayor deterioro en relación a las demás cuadras. Además, se observa que en algunas cámaras hay un agrietamiento de las tapas, y también sobre algunas losas se puede apreciar el desgaste de la pasta de cemento dejando expuesto el agregado. Ver tabla 2.

Tabla 2. Historia clínica del paciente.

INFORMACIÓN	
PROYECTO:	Pavimento en concreto hidráulico carrera 7 entre calles 24 y 34
UBICACIÓN:	Ipiales (Nariño)
USO:	Vía urbana de uso mixto
LONGITUD:	2 Km
ANCHO DE CALZADA:	7.40 m
FECHA DE CONSTRUCCIÓN:	septiembre de 2007
INTERVENCIONES PREVIAS:	Ninguna conocida
APLICACIÓN PATOLÓGICA:	Pediátrica (9 años)

INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL DETERIORO	
LESIONES OBSERVADAS:	Grietas longitudinales, transversales, bloque y esquina.
GRADO DE SEVERIDAD:	Moderado
CLASIFICACIÓN DE LA LESIÓN:	Mecánica

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	
LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO TIPO	
RESISTENCIA DE DISEÑO:	MR: 4.0 MPa
DIMENSIONES	
LARGO:	4.0 m
ANCHO CARRIL:	3.7 m
ESPESOR LOSA:	20 cm
MATERIAL DE APOYO:	Sub base granular – tipo recebo
ESPESOR MATERIAL DE APOYO:	Variable 15 a 28 cm

DESCRIPCIÓN DEL DETERIORO	
PROFUNDIDAD:	Atravesante
MOVILIDAD:	En progreso
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE:	Grieta Longitudinal

Fuente: de este estudio – 2016

5.1.2.2. Antecedentes

- En el año de 2007 se realiza la construcción de la estructura del pavimento, y para el año 2010 (3 años después) se realiza la construcción de andenes, fotografía 3 y 4.



Fotografía 3. Ausencia de confinamiento año 2010.
Fuente: Archivo Valorización Municipal de Ipiales – 2010.



Fotografía 4. Ausencia de confinamiento año 2010.
Fuente: Archivo Valorización Municipal de Ipiales – 2010.

- Para el año de 2013, sobre el sector de la de la **carrera 7 entre calles 24 y 25**, se da inicio a la demolición de la antigua planta de cervecería Bavaria y posterior construcción del centro comercial Gran Plaza Ipiales. Situación que favoreció la incidencia del tránsito de vehículos pesados sobre este sector, como se muestra en las fotografías 5 a 7.



Fotografía 5. Estado de la vía sector Cra 7 entre calles 24 y 25, a inicios de la demolición antigua planta de Bavaria - 2013.
Fuente: Google Maps.



Fotografía 6. Panorámica construcción Gran Plaza Ipiales – 2014.
Fuente: Grupo Concreto – 2014.



Fotografía 7. Estado actual de la vía sector Cra 7 entre calles 24 y 25 con visibles daños
Fuente: de este estudio – 2016.

5.2. PERMISOS Y AUTORIZACIONES PARA ANALIZAR EL PACIENTE

De forma preliminar se realizó la consulta y socialización de la metodología y alcance del estudio propuesto con la administración municipal de Ipiales, específicamente con el equipo técnico de las oficinas de secretaria de Planeación y secretaria de Infraestructura. De tal manera que se obtuvo los permisos necesarios para el desarrollo del trabajo, ver **Anexo A – Solicitud y autorización de permisos para analizar la infraestructura del pavimento**).

5.3. INVENTARIO DE DAÑOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Para llevar a cabo el inventario de daños mediante inspección visual, se tomó como referente el procedimiento y el formato de registro de daños establecidos por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en el *manual de inspección visual de pavimento rígidos*.

5.3.1. Inventario de daños sobre la estructura del pavimento

Para determinar las condiciones del estado actual del pavimento se registra de una manera ordenada la información del inventario de daños, tales como: abscisa, número de placa, tipo de deterioro, nivel de severidad, dimensiones de la placa y área afectada, Figura 15. Para el trabajo de campo los implementos necesarios para medir y registrar los datos son: cinta métrica, flexometro, manual de tipos de deterioros y fichas de inspección visual.

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CANTÓN UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	FICHA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTO RÍGIDO
TRABAJO PRACTICO INTEGRADO - TPI - ESTUDIO PATOLÓGICO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PASO NACIONAL POR IPIALES CARRETERA GUACHUCAL - IPIALES PR 21+800 – PR 23+800. CARRERA 7 ENTRE CALLES 24 Y 34 IPIALES (NARIÑO)	
TERRITORIAL:	<u>Nariño</u>
NOMBRE DE LA VÍA:	<u>Carrera 7 entre calles 24 y 34 Ipiales (Nariño)</u>
RESPONSABLES:	<u>I.C Andrés Geovanny Hillón S. I.C Víctor Hugo López G. I.C Ángela María Ortega M.</u>
HOJA <u> </u> DE <u> </u>	

ABSCISA	No. PLACA			DIMENSIONES DE LA LOSA		TIPO DE DETERIORO				OBSERVACIONES y/o ACLARACIONES		
						Daño		Reparación				
	#	Letra	Foto	Largo	Ancho	Tipo	Sever.	Largo	Ancho		Largo	Ancho

Observaciones:

PR Inicial: _____	Ancho de berma: _____	A: Nivel de severidad ALTA	D: Carril derecho
PR final: _____	Espesor de losa: _____	M: Nivel de severidad MEDIA	I: Carril izquierdo
Número de calzadas: _____	Número de carriles por calzada: _____	B: Nivel de severidad BAJO	

Figura 15. Formato 1 – Ficha de inspección visual de pavimento rígido¹⁴

¹⁴ Ficha de inspección tomada de, INVIAS 2006. MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTO RÍGIDO.

Como se puede observar en la tabla 3, para realizar la inspección visual se procedió a dividir por sectores (cuadras), considerando que la vía en estudio tiene una longitud de 2 km, que va desde la calle 24 hasta la calle 34 sobre la carrera 7, obteniendo un total de 11 cuadras. El tipo de pavimento corresponde a losas de concreto simple, la vía es de una calzada en doble sentido constituida por 1020 placas y cuenta con un área construida de 15096 m².

Tabla 3. Sectorización en cuadras de la vía en estudio.

SECTOR	PR inicial	PR final	Longitud sector m	Área sector m ²	No. Placas construidas
Cuadra No. 1 entre calles 24 y 25	K 21 + 800	K 22 + 152	352	2604.8	176
Cuadra No. 2 entre calles 25 y 26	K 22 + 152	K 22 + 288	136	1006.4	68
Cuadra No. 3 entre calles 26 y 26A	K 22 + 288	K 22 + 416	128	947.2	64
Cuadra No. 4 entre calles 26A y 27	K 22 + 416	K 22 + 596	180	1332	90
Cuadra No. 5 entre calles 27 y 28	K 22 + 596	K 22 + 832	236	1746.4	118
Cuadra No. 6 entre calles 28 y 29	K 22 + 832	K 23 + 032	200	1480	100
Cuadra No. 7 entre calles 29 y 29A	K 23 + 032	K 23 + 144	112	828.8	56
Cuadra No. 8 entre calles 29A y 30	K 23 + 144	K 23 + 320	176	1302.4	88
Cuadra No. 9 entre calles 30 y 31	K 23 + 320	K 23 + 528	208	1539.2	104
Cuadra No. 10 entre calles 31 y 32	K 23 + 528	K 23 + 612	84	621.6	42
Cuadra No. 11 entre calles 32 y 34	K 23 + 612	K 23 + 840	228	1687.2	114
TOTAL			2040	15096	1020

Fuente: de este estudio – 2016.

De acuerdo al formato de la ficha de inspección para la toma de datos (Figura 15), se tiene en cuenta las siguientes convenciones y criterios establecidos en la figura 16 y tabla 4.

- **Identificación de placas**

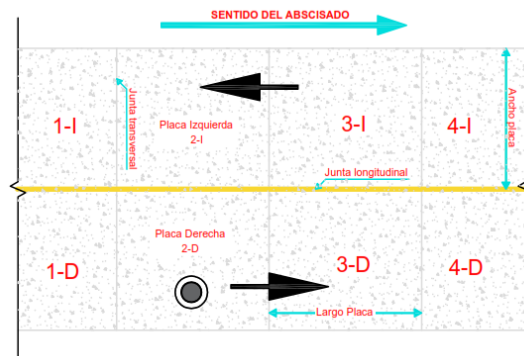


Figura 16. Representación gráfica modelo para toma de datos

- **Tipos de daños y severidades en pavimento rígido:**

Tabla 4. Tipos de daños y severidades en pavimentos rígidos.

No.	Tipo de Daño (unidad de medida)	Símbolo	Severidad		
			Baja (B)	Media (M)	Alta (A)
GRIETAS Y AGRIETAMIENTOS					
1.	Grietas longitudinales (m)	GL	a<3mm	3 - 10mm	>10mm
2.	Grietas transversales (m)	GT	a<3mm	3 - 10mm	>10mm
3.	Grietas de esquina (m)	GE	a<3mm	3 - 10mm	>10mm
4.	Grietas en los extremos de los pasadores (m)	GP	a<3mm	3 - 10mm	>10mm
5.	Grietas en bloque o múltiples (m2)	GB	Siempre altas		
6.	Grietas en pozos y sumideros (m2)	GA	<3mm	3 - 10mm	>10mm
JUNTAS					
7.	Separación de juntas (m)	SJ	<3 mm	3 - 25 mm	>25mm
8.	Deficiencias de sellado (m)	DST, DSL	L < 0.5m	0.5 - 2.0 m	> 2.0m
DETERIORO SUPERFICIAL					
9.	Desportillamiento (m)	DPT, DPL	a <5 cm	5 - 15 cm	>15cm
10.	Descascaramientos (m2)	DE	Sin severidad		
11.	Pulimento (m2)	PU	Fácilmente perceptible	El área pulimentada tiene un acabado mate	Apariencia de espejo
12.	Desintegración (m2)	DI	Sin severidad		
13.	Cabezas duras (m2)	CD	Sin severidad		
14.	Escalonamiento de juntas (unidad)	EJ	h < 6 mm	6 - 13 mm	>13mm
15.	Levantamiento localizado (m)	LET, LEL	h <5mm	5 - 10mm	>10mm
16.	Parches (m2)	PCHA, PCHC	bueno	Daños leves y medios, asent<5mm	Daños severos, asent>5mm
17.	Hundimientos o asentamientos (unidad)	HU	No genera molestia (o rebote) al conductor.	Genera poca molestia (o rebote) al conductor.	Causa reducción de velocidad.
OTROS DAÑOS					
18.	Fisuramiento por retracción (tipo malla) (m2)	FR	Sin descascarar	desc < 10%	desc > 10%
19.	Fisuras ligeras de aparición temprana (m2)	FT	Sin descascarar	Con algunas zonas descascaradas	Agrietamiento y descascaramiento
20.	Fisuración por durabilidad (m2)	FD	Sin severidad		
21.	Bombeo (m)	BOT, BOL	El agua es expulsada sin arrastrar finos.	Existe una pequeña cantidad del material bombeado en las juntas.	Existe una gran cantidad de material bombeado sobre el pavimento.
22.	Ondulaciones (m2)	ON	Genera un rebote leve al vehículo.	Genera rebote al vehículo con algo de incomodidad.	Genera un rebote excesivo a vehículo, requiere reducir velocidad.
DAÑOS EN BERMAS					
23.	Descenso de la berma (m)	DB	h<10mm	10 - 30mm	>30mm
24.	Separación entre berma y pavimento (m)	SB	Abertura < 3mm.	Entre 3mm y 10mm.	> 10mm.

Fuente: INVIAS - Manual de Inspección Visual - 2006.

Con relación a los deterioros observados se detectó que el más predominante es el de **grieta longitudinal**. Dentro de los tipos de daños que se muestran en las fotografías 8 a 10, se encontró grietas longitudinales (GL), grietas transversales (GT), grietas en bloque (GB), grietas de esquina (GE), grietas en pozos (GA) y deterioros de tipo superficial tales como, desportillamiento de juntas transversales (DPT) y cabezas duras (CD). Ver **Anexo B - Inventario de daños y registro fotográfico**.



Fotografía 8. Grieta longitudinal, grieta transversal y grieta en bloque

Fuente: de este estudio – 2016



Fotografía 9. Grieta en esquina, grieta en pozos, desportillamiento de juntas
Fuente: de este estudio – 2016



Fotografía 10. Cadezas duras
Fuente: de este estudio - 2016

5.3.2. Procesamiento de datos y análisis de resultados de la inspección visual

En la tabla 5, se presenta un resumen de los daños encontrados en cada una de las cuadras de la vía entre calles 24 y 34 sobre la carrera 7; es importante destacar que sobre el sector designado como **cuadra No. 10 – entre calles 31 y 32** no se registró ningún tipo de deterioro, únicamente se observó el desgaste normal que presenta la vía por su uso, sin embargo, la **cuadra No. 1 – entre calles 24 y 25** es la que mayor incidencia de daño presenta.

En la tabla 6, se identifica el número de placas afectadas de acuerdo al deterioro junto su nivel de severidad (alta, media y baja).

Tabla 5. Resumen general del número de placas deterioradas de la Cra 7 entre calles 24 y 34.

TRAMO		No. De placas afectadas							TOTAL PLACAS AFECTADAS
		GL	GT	GB	GE	DPT	GA	CD	
Cuadra No. 1	entre calles 24 y 25	81	2	17	3	-	-	-	103
Cuadra No. 2	entre calles 25 y 26	20	1	-	-	1	-	-	22
Cuadra No. 3	entre calles 26 y 26A	8	-	-	-	-	-	1	9
Cuadra No. 4	entre calles 26A y 27	18	-	-	-	-	-	-	18
Cuadra No. 5	entre calles 27 y 28	25	-	1	-	-	1	-	27
Cuadra No. 6	entre calles 28 y 29	6	-	-	-	-	-	2	8
Cuadra No. 7	entre calles 29 y 29A	3	-	-	-	-	-	-	3
Cuadra No. 8	entre calles 29A y 30	3	-	-	-	-	-	-	3
Cuadra No. 9	entre calles 30 y 31	6	-	-	-	-	-	1	7
Cuadra No. 10	entre calles 31 y 32	-	-	-	-	-	-	-	-
Cuadra No. 11	entre calles 32 y 34	2	2	1	-	-	-	2	7
Carrera 7 entre calles 24 y 34 – Ipiales (NRÑ)		172	5	19	3	1	1	6	207

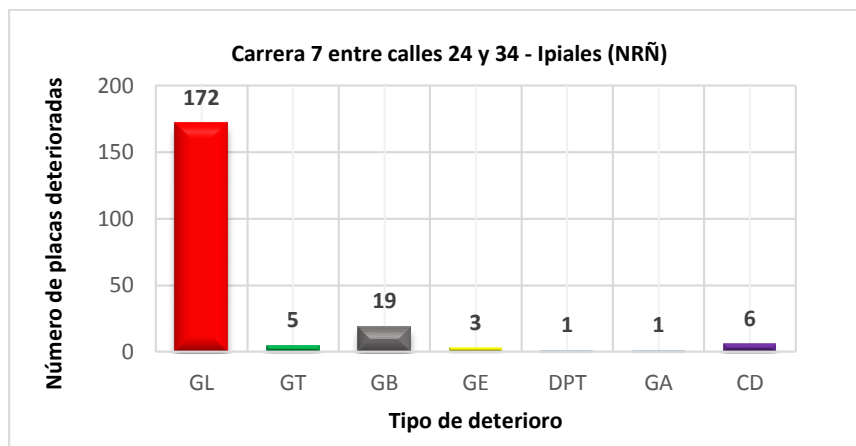
Fuente: de este estudio – 2016.

Tabla 6. Resumen de placas afectadas de acuerdo a deterioro y nivel de severidad.

DETERIORO		No. De placas afectadas	SEVERIDAD		
			ALTA	MEDIA	BAJA
GL	GRIETA LONGITUDINAL	172	74	51	47
GT	GRIETA TRANSVERSAL	5	3	1	1
GB	GRIETA EN BLOQUE	19	19	0	0
GE	GRIETA EN ESQUINA	3	1	1	1
GA	GRIETA EN POZOS Y SUMIDEROS	1	0	1	0
DPT	DESPOZILLAMIENTO DE JUNTAS	1	0	1	0
CD	CABEZAS DURAS	6	-	-	-

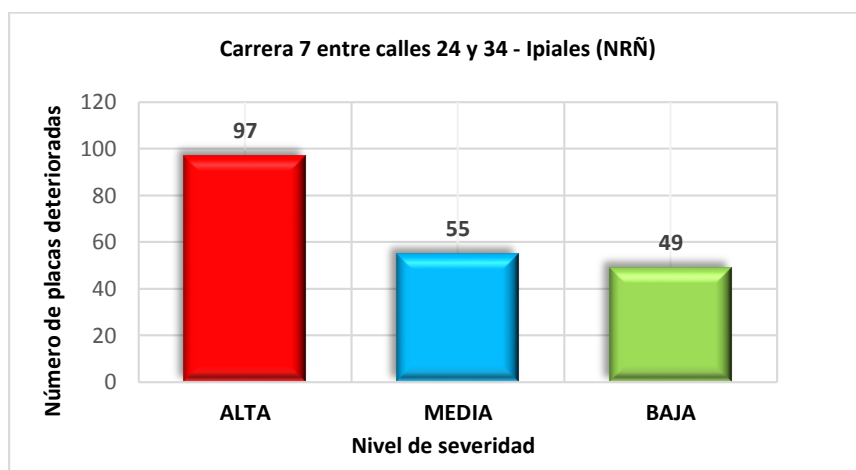
Fuente: de estudio – 2016.

A continuación, en las gráficas 1 y 2 se presenta un resumen general correspondiente a los deterioros encontrados y nivel de severidad (alta, media y baja) en toda la vía de estudio (1020 placas inspeccionadas), donde se observa que el deterioro más predominante es la grieta longitudinal afectando a 172 placas de 207 placas afectadas, de las cuales 97 presentan un nivel de severidad alto.



Gráfica 1. Resumen general del número de placas deterioradas

Fuente: de este estudio – 2016.



Gráfica 2. Resumen general del número de placas deterioradas con respecto al nivel de severidad

Fuente: de este estudio – 2016.

5.3.2.1. Índice de condición del pavimento (PCI – Pavement Condition Index)¹⁵

Una vez obtenido los datos procedentes de la inspección visual, se da inició a evaluar el estado del pavimento rígido de la vía en estudio. Para la evaluación del inventario de daños del pavimento rígido se utiliza los rangos de calificación propuestos por la **METODOLOGÍA PCI** (índice de condición de pavimento).

¹⁵ Tomado de, VÁSQUEZ Luis Ricardo. 2002. Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concretos en carreteras.

El deterioro de la estructura de pavimento está en función de la clase de daño, severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores deducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad (número de losas afectadas) tiene sobre la condición del pavimento, (Vásquez, 2002).

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la tabla 7 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 7. Calificación de índice de condición del pavimento (PCI)

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)	
RANGO	CALIFICACIÓN
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10	Muy malo
10 - 0	Fallado

Fuente: Vásquez – 2002.

A continuación en la tabla 8 se presenta la calificación del índice de integridad estructural del pavimento y condición operacional de la superficie por cada sector de la vía en estudio. Dentro de la calificación del PCI por sector se puede apreciar que el más deteriorado corresponde a la **cuadra No. 1 – entre calles 24 y 25**, con un porcentaje de placas afectadas de 58.5% respecto al total de placas construidas en el sector y obteniendo una clasificación dentro del PCI como **malo**. Además, se registra que del total de las placas construidas 207 placas presentan algún tipo de deterioro, lo cual representa una afectación del 20.3% con respecto al total de la vía en estudio. Ver **Anexo C – Análisis para determinar el índice de condición del pavimento (PCI)**.

Tabla 8. Calificación del PCI de la vía en estudio – Cra 7 entre calles 24 y 34 Ipiiales (Nariño).



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

ÍNDICE DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO Y CONDICIÓN OPERACIONAL DE LA SUPERFICIE (PCI) POR CADA SECTOR

TRABAJO PRACTICO INTEGRADO - TPI -

TERRITORIAL:

Nariño

NOMBRE DE LA VÍA:

Carrera 7 entre calles 24 y 34 Ipiales (Nariño)

RESPONSABLES:

I.C. Andrés Geovanny Hillón S. I.C. Victor Hugo López G. I.C. Ángela María Ortega M.

ESTUDIO PATOLÓGICO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PASO NACIONAL POR IPIALES

CARRETERA GUACHUCAL - IPIALES PR 21+800 – PR 23+800. CARRERA 7 ENTRE CALLES 24 Y 34 IPIALES (NARIÑO)

sector	No. Placas construidas	Total placas afectadas	% respecto al total de placas construidas	% de placas afectadas respecto al total de placas construidas en cada sector	Máximo Valor Deducido Corregido CDV	Índice de Condición del Pavimento - PCI	Clasificación en cada sector
Cuadra No. 1 entre calles 24 y 25	176	103	10.1%	58.5%	71	29	Malo
Cuadra No. 2 entre calles 25 y 26	68	22	2.2%	32.4%	49	51	Regular
Cuadra No. 3 entre calles 26 y 26A	64	9	0.9%	14.1%	18	82	Muy Bueno
Cuadra No. 4 entre calles 26A y 27	90	18	1.8%	20.0%	32	68	Bueno
Cuadra No. 5 entre calles 27 y 28	118	27	2.6%	22.9%	39	61	Bueno
Cuadra No. 6 entre calles 28 y 29	100	8	0.8%	8.0%	20	80	Muy Bueno
Cuadra No. 7 entre calles 29 y 29A	56	3	0.3%	5.4%	10	90	Excelente
Cuadra No. 8 entre calles 29A y 30	88	3	0.3%	3.4%	8	92	Excelente
Cuadra No. 9 entre calles 30 y 31	104	7	0.7%	6.7%	15	85	Excelente
Cuadra No. 10 entre calles 31 y 32	42	0	0%	0%	0	100	Excelente
Cuadra No. 11 entre calles 32 y 34	114	7	0.7%	6.1%	17	83	Muy Bueno
TOTAL	1020	207	20.3%				

Fuente: de este estudio – 2016.

De acuerdo con el registro visual de daños que la vía en estudio presenta, la metodología del PCI propone una serie de intervenciones para cada caso de deterioro y nivel de severidad, que para el caso de los deterioros presentes de la vía en estudio son los que se presentan en la tabla 9.

Una vez se obtiene el análisis de resultados de las exploraciones y sondeos (características físico-mecánicas de los materiales) (Sección 5.5) y chequeo de diseño de la estructura del pavimento (Sección 5.8), se determinará la opción a intervenir que mejor se ajuste para cada caso.

Tabla 9. Opciones de intervención de acuerdo a PCI¹⁶

DETERIORO	OPCIONES de intervención de acuerdo a PCI		
	SEVERIDAD		
	ALTA	MEDIA	BAJA
GL GRIETA LONGITUDINAL	- Sellado de grietas - Parcheo profundo - Reemplazo de placa	- Sellado de grietas mayores a 3mm	N/A
GT GRIETA TRANSVERSAL	- Sellado de grietas - Parcheo profundo - Reemplazo de placa	- Sellado de grietas mayores a 3mm	N/A
GB GRIETA EN BLOQUE	- Reemplazo de placa	-	-
GE GRIETA EN ESQUINA	- Parcheo profundo	- Sellado de grietas mayores a 3mm - parcheo profundo	N/A
GA GRIETA EN POZOS Y SUMIDEROS	- Sellado de grietas - Parcheo profundo - Reemplazo de placa	- Sellado de grietas mayores a 3mm	N/A
DPT DESPORTILLAMIENTO DE JUNTAS	- Parcheo parcial - Reconstrucción de la junta	- Parcheo parcial	N/A
CD CABEZAS DURAS	-No se realiza ningún tipo de intervención - Tratamiento superficial	-	-

Fuente: VÁSQUEZ – 2002.

Teniendo en cuenta las posibles causas que pueden estar dando origen a las lesiones encontradas en la placa del pavimento, se procede a requerir las pruebas de campo y de laboratorio referidas en la tabla 10.

Tabla 10. Pruebas de campo y laboratorio requeridos para el caso patológico de estudio.

PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO REQUERIDOS	
Trabajos y pruebas de campo	Aforo manual de tránsito por una semana
	Excavaciones a cielo abierto (Apiques)
	Penetrómetro dinámico de cono liviano PDC - CBR deducido
	Toma de núcleos al concreto de las losas
	Prueba de fenolftaleína a los núcleos de concreto
	Localización posicionamiento de dovelas
Ensayos de laboratorio	Humedad natural
	Granulometría
	Límites de Atterberg
	Compresión incofinada
	Corte directo (UU)
	CBR laboratorio Tipo I
	CBR deducido a partir del PDC
	Resistencia a la compresión de núcleos concreto
	Resistencia a la flexión a partir de f_c del concreto

¹⁶ Tomado de, VÁSQUEZ Luis Ricardo. 2002. Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concretos en carreteras.

5.4. CONTEO DE TRÁNSITO

5.4.1. Aforo manual de tránsito por una semana

El objetivo de este aforo es cuantificar el volumen actual de tránsito con las condiciones presentes que circulan sobre la vía en estudio - carrera 7 entre calles 24 y 34 del municipio de Ipiales – Nariño.

El aforo manual de tránsito se llevó a cabo por 24 horas durante 7 días, ver tabla 11. Se instaló una cámara de video en un punto estratégico de la vía en estudio y se procedió a grabar durante los 7 días para posteriormente realizar el conteo vehicular, procedimiento desarrollado por los autores de éste estudio patológico.

En el **Anexo D** se encuentra el registro completo del aforo de tránsito vehicular realizado a la vía de estudio *carrera 7 entre calles 24 y 34 del municipio de Ipiales – Nariño*.

Tabla 11. Aforo vehicular – vía de estudio Carrera 7 entre calles 24 y 34, Ipiales – Nariño

AFORO VEHICULAR	FECHA						PROYECTO TPI						 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA RESPONSABLES I.C. Andrés Geovanny Hillón Sarmiento I.C. Víctor Hugo López Guamantica I.C. Ángela María Ortega Moreno					
	1 6 0 6 1 6						ESTUDIO PATOLÓGICO DEL PAVIMENTO RÍGIDO											
	DÍA						PASO NACIONAL POR IPIALES CARRETERA											
	lunes - domingo						GUACHICAL - IPIALES PR 21+800 – PR 23+800.											
	RESUMEN GENERAL TPDs						CARRERA 7 ENTRE CALLES 24 Y 34 IPIALES (NARIÑO)											
DÍA	AUTOMÓVIL	BUS	CAMIONES															
			C2P	C2G	C1S2	C2S2	C3S3											
domingo	12,139	485																
lunes	11,194	598	160	175	5	0	15											
lunes	11,194	598	479	306	56	3	79											
martes	10,543	602	317	456	45	0	99											
miércoles	10,243	628	348	582	42	2	79											
jueves	9,943	647	369	697	37	3	46											
viernes	10,542	635	278	724	68	0	84											
sábado	11,286	587	220	581	53	0	51											
TOTAL	75,890	4,182	2,171	3,521	306	8	453											
TPDs	10,842	579	311	503	44	2	65											
%TPDs	88%	5%	3%	4%	0.4%	0.02%	1%											
DISTRIBUCIÓN DE VEHICULOS	AUTOMÓVILES	BUSES	CAMIONES															
	88%	5%	8%															
DISTRIBUCIÓN DE CAMIONES	C2P	C2G	C1S2	C2S2	C3S3													
	34%	55%	5%	0.12%	7%													

Fuente: de este estudio – 2016.



5.5. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO PARA SUELOS Y CONCRETO

5.5.1. Introducción

El análisis geotécnico para desarrollo del estudio patológico del pavimento rígido paso nacional por Ipiales carretera Guachucal - Ipiales PR 21+800 – PR 23+800. Carrera 7 entre calles 24 y 34 Ipiales (Nariño), en una longitud aproximada de 2000 metros, localizado de acuerdo a lo que se muestra en la figura 14 del presente informe, comprende:

- Trabajo de campo y toma de muestras.
- Ejecución, cálculo y presentación de los diferentes ensayos de laboratorio y de campo realizados a muestras de suelo y concreto.
- Descripción e identificación de la estratigrafía y estructura del pavimento en concreto rígido encontrada en el tramo vial en estudio.
- Análisis y recomendaciones para chequeo del diseño de la estructura de pavimento.
- Informe fotográfico de los trabajos de campo.

5.5.2. Objetivos

Los objetivos que se anotan a continuación se orientan a dar recomendaciones geotécnicas para el chequeo del diseño de la estructura del pavimento en concreto rígido en referencia de acuerdo a lo anotado en las Normas INVIAS:

- Conocer el perfil estratigráfico del subsuelo, estructura del pavimento rígido y la posición del nivel freático del tramo vial en estudio.
- Ejecución, cálculo y presentación de los diferentes ensayos de laboratorio y de campo realizados.
- Descripción e identificación de la estratigrafía y estructura de pavimento en concreto rígido encontrada en el tramo vial en estudio.

- Determinar los parámetros necesarios para el chequeo del diseño de la estructura del pavimento en concreto rígido.
- Informe fotográfico de los trabajos de campo.
- Análisis y diagnóstico desde el punto de vista geotécnico y de resistencias del concreto de la estructura del pavimento.

5.5.3. Características del lugar y de la estructura

De acuerdo a los resultados de las visitas técnicas realizadas y como resultado de las exploraciones realizadas, en el sector se encuentra una estructura de pavimento rígido, conformada por una losa en concreto de espesor 0.20 metros, sobre un material de base de espesor promedio 0.30 metros y el mismo sobre un material natural clasificado como arenas limosas y limos orgánicos poco plásticos color café a negro de diferentes tonalidades. La estructura general del pavimento en concreto rígido se muestra en la figura 17.

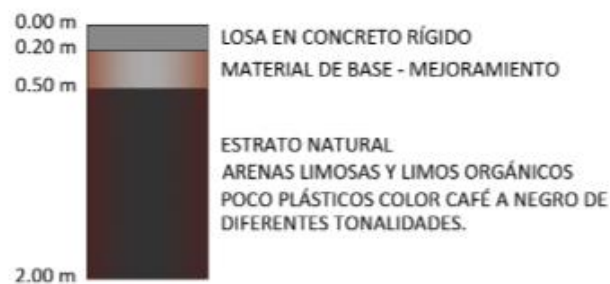


Figura 17. Estructura general pavimento en concreto rígido
Fuente: de este estudio - 2016.

5.5.4. Descripción área del proyecto

La descripción del área del estudio patológico del pavimento rígido paso nacional por Ipiales carretera Guachucal - Ipiales PR 21+800 – PR 23+800. Carrera 7 entre calles 24 y 34 Ipiales (Nariño), en una longitud aproximada de 2000 metros, localizado de acuerdo a como se muestra en la figura 14 del presente estudio, comprende la descripción general de la topografía, geomorfología y geología.

En la figura 18 y tabla 12 se detalla la geología de un sector del municipio de Ipiales el cual corresponde al casco urbano y zonas aledañas al mismo, con sus respectivas leyendas mediante la descripción de la plancha geológica 447 de Ingeominas.

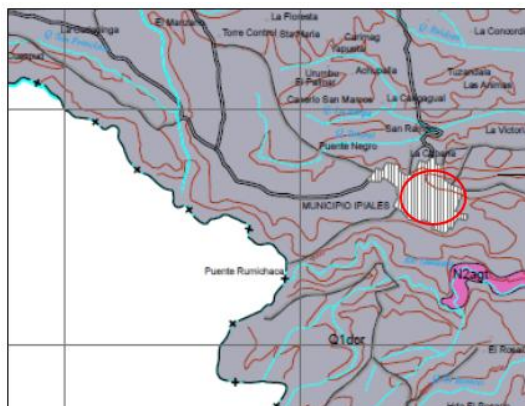


Figura 18. Geología municipio de Ipiales – Planchas 447 Ipiales y 447BIS Tallambí
Fuente: Ingeominas - 2003.

Tabla 12. Leyendas y descripción geología municipio de Ipiales, Planchas 447 Ipiales y 447 BIS Tallambí

LEYENDA	DESCRIPCIÓN
Q1dcr	DEPÓSITOS DE CENIZAS DE RUMICHACA: Depósitos arenosos, limo-arenosos intercalados con pómez de caída, aportes aluviales y coluviales.
N2agt	ANDESITAS DE GUÁITARA: Lavas masivas, color gris oscuro, afaníticas a porfídicas con plagioclasas, piroxeno y vidrio alterado.
N2acne	ANDESITAS PROFÍDICAS DEL CERRONEGRO DEL ENCINO: Flujo de lavas andesíticas y flujos pirocásticos de un antiguo edificio volcánico, andesítico, con plagioclasas, clino y ortopiroxeno y vidrio.
Q1dg	DEPÓSITOS GLACIARES: Depósitos de till, incluye morrenas laterales, terminales y de fondo. Bloques métricos, decimétricos y guijarros en matriz de lodo. Además, depósitos fluvioglaciares en las zonas más bajas.

Fuente: Ingeominas - 2003.

En el **Anexo E**, se muestra la descripción general realizado a la vía de estudio *carrera 7 entre calles 24 y 34 del municipio de Ipiales – Nariño*.

5.5.5. Investigación del subsuelo y laboratorios

El trabajo de campo consistió en la realización de exploraciones para obtención de parámetros para el chequeo del diseño de la estructura de pavimento en concreto rígido, de las cuales 6 fueron a cielo abierto con recuperación de muestras (apiques) y 14 con el penetrómetro dinámico de cono (P.D.C.) para obtención del CBR de campo deducido.

Las profundidades fueron variables en un rango de 0.70 a 2.00 metros, hasta donde el suelo lo permitió y de acuerdo a las Normas INVIAS.

El trabajo de campo realizado se resume en la tabla 13.

Tabla 13. Resumen de las exploraciones de campo realizadas

EXPLORACIÓN	No.	PROF. MÁX (m)
APIQUES	6	2.00
DCP'S	14	2.00

Fuente: de este estudio - 2016.

Las exploraciones se ubicaron convenientemente en el tramo vial y sector en estudio. Ver Figura 19 y 20. Ubicación de exploraciones e informe fotográfico.

De las exploraciones se tomaron muestras a medida que la estratigrafía cambiaba, para realizarles las pruebas de laboratorio como humedad natural, límites de Atterberg, granulometría por tamizado, corte directo (UU), proctor modificado, CBR de laboratorio tipo I, pruebas de campo para obtención del CBR deducido a partir del penetrómetro dinámico de cono (PDC). De igual forma se realizó la toma de núcleos de concreto a las losas del pavimento en concreto rígido para cálculo de la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión deducida a partir de la resistencia a la compresión.

Los resultados de las diferentes pruebas, se entregan como anexo al presente estudio.



Figura 19. Localización exploraciones de campo - excavaciones a cielo abierto (apiques)

Fuente: de este estudio - 2016.



Figura 20. Localización exploraciones de campo - penetrómetro de cono dinámico PDC

Fuente: de este estudio - 2016.

5.5.6. Informe fotográfico

El informe fotográfico de las exploraciones realizadas para desarrollo del presente estudio, se muestra en las fotografías 11 a 26.

5.5.6.1. Informe fotográfico - exploraciones a cielo abierto (apiques)



Fotografía 11. Apique A-1 (Esquina Centro Comercial Gran Plaza – esquina)

Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 12. Apique A-2 (Carrera 7 sobre calle 29A)
Fuente: de este estudio – 2016



Fotografía 13. Apique A-3 (Carrera 7 sobre calle 30)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 14. Apique A-4 (Carrera 7 sobre calle 31)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 15. Apique A-5 (Carrera 7 sobre calle 32)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 16. Apique A-6 (Carrera 7 sobre calle 34)
Fuente: de este estudio – 2016.

5.5.6.2. Informe fotográfico - Penetrómetro dinámico de cono (PDC)



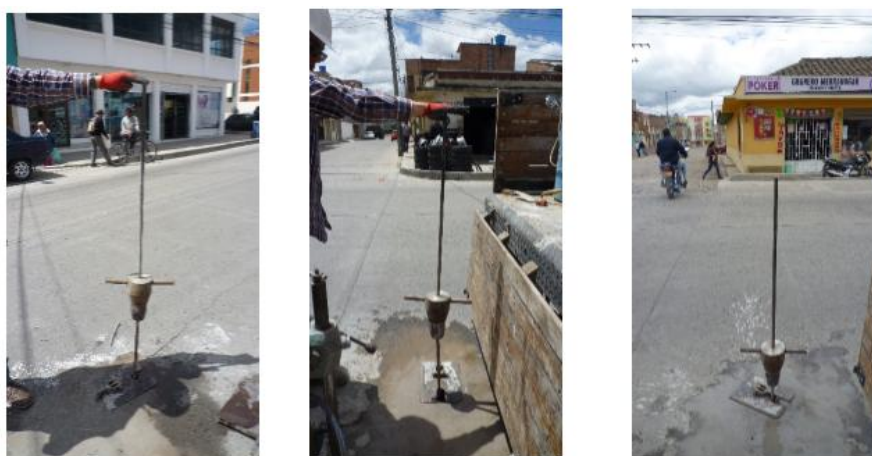
Fotografía 17. PDC 1, PDC 2 y PDC 3 (Carrera 7 entre calles 24 y 25)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 18. PDC 4, PDC 5 y PDC 6 (Carrera 7 entre calles 25 y 26)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 19. PDC 7, PDC 8 y PDC 9 (Carrera 7 entre calles 26 y 28)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 20. PDC 10, PDC 11 y PDC 12 (Carrera 7 entre calles 28 y 30)
Fuente: de este estudio – 2016.

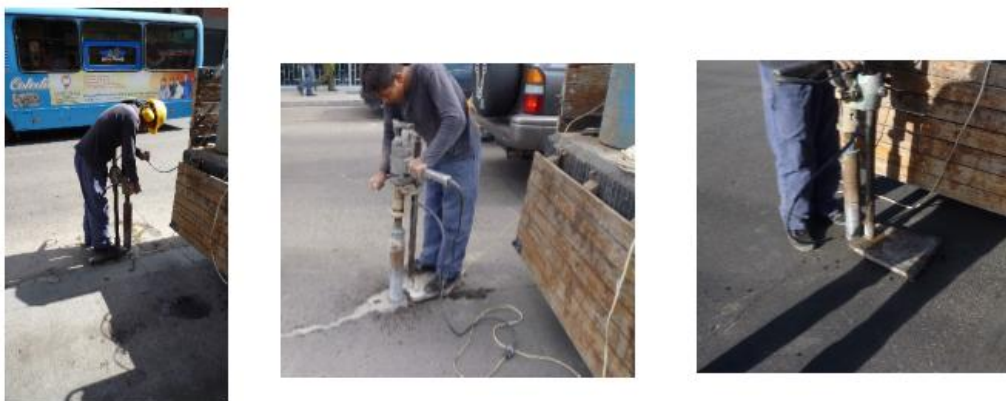


Fotografía 21. PDC 13 y PDC 14 (Carrera 7 entre calles 30 y 34)
Fuente: de este estudio – 2016.

5.5.6.3. Informe fotográfico - Toma de núcleos de concreto



Fotografía 22. Núcleo 1, Núcleo 2 y Núcleo 3 (Carrera 7 entre calles 24 y 25)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 23. Núcleo 4, Núcleo 5 y Núcleo 6 (Carrera 7 entre calles 25 y 26)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 24. Núcleo 7, Núcleo 8 y Núcleo 9 (Carrera 7 entre calles 26 y 28)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 25. Núcleo 10, Núcleo 11 y Núcleo 12 (Carrera 7 entre calles 28 y 30)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 26. Núcleo 13 y Núcleo 14 (Carrera 7 entre calles 30 y 34)
Fuente: de este estudio – 2016.

5.5.7. Descripción e identificación de los diferentes estratos del subsuelo

Teniendo en cuenta la estratigrafía observada, ensayos de laboratorio y de campo; ésta se presenta con homogeneidad en el tramo vial en estudio, constituida por materiales como limos poco y muy plásticos, color café, amarillo y gris de diferentes tonalidades.

En el **Anexo F**, se muestra la descripción de la estratigrafía definida a partir de las exploraciones de campo realizadas a la vía en estudio *carrera 7 entre calles 24 y 34 del municipio de Ipiales – Nariño*.

Los CBR deducidos del DCP (Penetrómetro de cono dinámico) obtenidos en promedio, que se deben tener en cuenta para revisión del diseño de la estructura del pavimento en el tramo vial en estudio, se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Valores de CBR para ser usados en el diseño de pavimento. DCP's en el tramo vial
(Clasificación de calidad de subrasante de acuerdo a Bowles, 1981; Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil).

Profundidad (m)	D.C.P # 1		D.C.P # 2		D.C.P # 3	
	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE
0.50	110.21	Excelente	87.37	Excelente	64.17	Excelente
CBR PROMEDIO	110.2	Excelente	87.4	Excelente	64.2	Excelente

Profundidad (m)	D.C.P # 4		D.C.P # 5		D.C.P # 6	
	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE
0.50	20.44	Bueno	12.04	Regular	57.25	Excelente
1.00	8.19	Regular	7.80	Regular		
1.50	7.80	Regular	7.80	Regular		
2.00	8.19	Regular	7.03	Regular		
CBR PROMEDIO	11.2	Regular	8.7	Regular	57.3	Excelente

Profundidad (m)	D.C.P # 7		D.C.P # 8		D.C.P # 9	
	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE
0.50	8.57	Regular	24.29	Bueno	38.65	Bueno
1.00	8.96	Regular	8.58	Regular	9.35	Regular
1.50	7.03	Regular			5.87	Pobre a regular
2.00	7.80	Regular			8.19	Regular
CBR PROMEDIO	8.1	Regular	16.4	Regular	15.5	Regular

Profundidad (m)	D.C.P # 10		D.C.P # 11		D.C.P # 12	
	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE
0.50	23.09	Bueno	52.41	Excelente	16.75	Regular
CBR PROMEDIO	23.1	Bueno	52.4	Excelente	16.8	Regular

Profundidad (m)	D.C.P # 13		D.C.P # 14	
	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE
0.50	18.97	Regular	25.85	Bueno
CBR PROMEDIO	19.0	Regular	25.9	Bueno

Fuente: de este estudio - 2016.

En la tabla 15 y **Anexo G**, se anotan los diferentes resultados de los ensayos de laboratorio. La estratigrafía se observa en la figura 21 y 22 e informe fotográfico.

Tabla 15. Resumen resultados ensayos de laboratorio.

Exploración	Prof.	Descripción	Humedad	Granulom.	% pasa	Límites	Clasificación	P.Unitario (Ton/m³)		Corte Directo	
No.	(m)		(%)	No. 4	No.200	LL - Ip	U.S.C.	Seco	Húmedo	c (kg/cm²)	φ (°)
A - 1	0.20	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO - RECEBO	20.44	99.55	46.62	NL - NP	SM				
	0.80	ARENA LIMOSA COLOR GRIS OSCURO CON NEGRO	23.22	99.69	31.38	NL - NP	SM				
	1.20	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO A NEGRO	23.39	99.43	39.00	NL - NP	SM				
	1.70	ARENA LIMOSA COLOR CREMA CLARO	23.51	100.00	22.11	NL - NP	SM				
	2.00	LIMO ORGÁNICO POCO PLÁSTICO COLOR CAFÉ OSCURO A NEGRO	33.97	100.00	76.67	NL - NP	OL	1.25	1.72	0.11	11.20
A - 2	0.30	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ ROJIZO	10.79	68.10	22.41	NL - NP	SM				
	0.60	ARENA LIMOSA COLOR GRIS OSCURO	9.61	93.77	23.90	NL - NP	SM				
	0.90	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO A NEGRO	18.52	100.00	30.32	NL - NP	SM				
	1.50	ARENA LIMOSA COLOR CREMA CLARO	22.26	99.20	24.53	NL - NP	SM				
	2.00	LIMO ORGÁNICO POCO PLÁSTICO COLOR CAFÉ OSCURO A NEGRO	39.34	100.00	68.69	NL - NP	OL	1.21	1.76	0.14	13.17
A - 3	0.50	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO A NEGRO	19.09	89.19	39.33	NL - NP	SM				
	1.80	ARENA LIMOSA COLOR GRIS OSCURO CON NEGRO	12.69	95.08	25.90	NL - NP	SM	1.21	1.74	0.19	23.55
A - 4	0.35	GRAVA LIMOSA UNIFORME COLOR CAFÉ ROJIZO	8.05	24.91	7.78	NL - NP	GM-GP				
	0.70	ARENA LIMOSA COLOR GRIS CON NEGRO	12.32	93.93	32.76	NL - NP	SM				
	1.50	LIMO POCO PLÁSTICO COLOR CREMA CLARO	20.59	99.90	53.20	NL - NP	ML				
	2.00	LIMO POCO PLÁSTICO COLOR CAFÉ OSCURO	38.23	98.27	70.09	NL - NP	ML	1.23	1.73	0.04	26.70
A - 5	0.40	LIMO ORGÁNICO POCO PLÁSTICO COLOR CAFÉ OSCURO A NEGRO	25.62	97.86	55.09	NL - NP	OL				
	0.60	GRAVA UNIFORME COLOR GRIS CON NEGRO	13.76	46.24	2.88	NL - NP	GP				
	1.30	ARENA LIMOSA COLOR CREMA CLARO	20.16	97.70	22.00	NL - NP	SM	1.10	1.75	0.11	17.48
	2.00	LIMO POCO PLÁSTICO COLOR CAFÉ OSCURO	41.15	99.08	71.56	NL - NP	ML	1.20	1.73	0.16	17.76
A - 6	0.35	GRAVA LIMOSA UNIFORME COLOR CAFÉ	5.36	28.29	9.19	NL - NP	GM-GP				
	0.80	LIMO ORGÁNICO POCO PLÁSTICO COLOR CAFÉ OSCURO A NEGRO	20.51	100.00	50.15	NL - NP	OL				
	1.40	GRAVA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO	19.87	43.77	19.93	NL - NP	GM				
	2.00	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO A NEGRO	21.72	98.80	44.62	NL - NP	SM	1.30	1.62	0.12	20.00

Fuente: de este estudio - 2016.

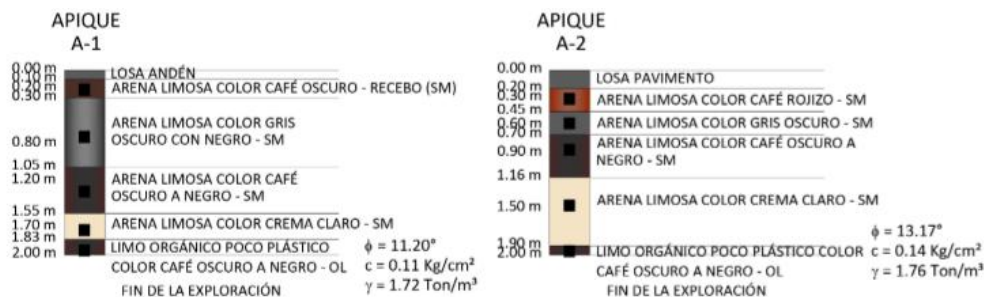


Figura 21. Estratigrafía Apiques A-1 a A-2

Fuente: de este estudio - 2016.



Figura 22. Estratigrafía Apiques A-3 a A-6.
Fuente: de este estudio - 2016.

5.5.8. Toma de núcleos losa pavimento de concreto rígido

Con el propósito de caracterizar el concreto de la losa del pavimento en concreto rígido del tramo vial en estudio, se realizó la toma de 14 núcleos y se les realizó el ensayo de resistencia a la compresión y posteriormente el cálculo de la resistencia a la flexión deducida a partir de la resistencia a la compresión.

La localización general de los puntos en donde se realizó la toma de núcleos, se muestra en la figura 23.

En la tabla 16, se muestran los resultados del ensayo a la compresión y sus respectivas propiedades físicas tales como altura, diámetro y peso.

La toma de núcleos de la losa del pavimento en concreto rígido se muestra en las fotografías 27 a 31.



Figura 23. Localización toma de núcleos losa pavimento rígido tramo vial en estudio

Fuente: de este estudio - 2016.

Tabla 16. Cuadro resumen resultados ensayo de núcleos de concreto losa en pavimento rígido.

NÚCLEO	SITO	PESO (g)	DIÁM. (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	LECTURA (k)	RESIST. (k/cm ²)	RESIST. (psi)	P. UNIT (t/m ³)	ESBELTEZ	CORRECCIÓN POR ESBELTEZ	RESIST.(psi) CORREGIDA	RESIST (k/cm ²) CORREGIDA
1	NÚCLEO 1	1421	7.21	12.2	40.83	10150	248.60	3551.47	2.85	1.69	0.97	3449.24	241.45
2	NÚCLEO 2	1519	7.21	15.4	40.83	10050	246.15	3516.48	2.42	2.14	0.99	3465.89	242.61
3	NÚCLEO 3	965	7.21	11.0	40.83	9870	241.74	3453.49	2.15	1.53	0.96	3324.09	232.69
4	NÚCLEO 4	1809	7.21	19.0	40.83	10230	250.56	3579.46	2.33	2.64	1.05	3772.65	264.09
5	NÚCLEO 5	1897	7.21	19.8	40.83	9950	243.70	3481.49	2.35	2.75	1.09	3780.44	264.63
6	NÚCLEO 6	1606	7.21	17.8	40.83	10210	250.07	3572.46	2.21	2.47	1.02	3642.12	254.95
7	NÚCLEO 7	1696	7.21	19.5	40.83	10190	249.58	3565.46	2.13	2.70	1.07	3825.69	267.80
8	NÚCLEO 8	1638	7.21	17.6	40.83	10230	250.56	3579.46	2.28	2.44	1.02	3633.52	254.35
9	NÚCLEO 9	1557	7.21	16.7	40.83	10140	248.36	3547.97	2.28	2.32	1.00	3545.48	248.18
10	NÚCLEO 10	1697	7.21	18.8	40.83	10240	250.81	3582.96	2.21	2.61	1.05	3752.01	262.64
11	NÚCLEO 11	1850	7.21	19.4	40.83	10070	246.64	3523.47	2.34	2.69	1.07	3766.39	263.65
12	NÚCLEO 12	1835	7.21	19.2	40.83	10310	252.52	3607.45	2.34	2.66	1.06	3828.30	267.98
13	NÚCLEO 13	2096	7.21	22.0	40.83	10110	247.62	3537.47	2.33	3.05	1.22	4315.39	302.08
14	NÚCLEO 14	2251	7.21	24.4	40.83	9980	244.44	3491.98	2.26	3.38	1.46	5112.70	357.89
											RESISTENCIA PROMEDIO	PSI 3800.99	Kg/cm ² 266.07

Fuente: de este estudio - 2016.



Fotografía 27. Núcleo 1, Núcleo 2 y Núcleo 3 (Carrera 7 entre calles 24 y 25)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 28. Núcleo 4, Núcleo 5 y Núcleo 6 (Carrera 7 entre calles 25 y 26)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 29. Núcleo 7, Núcleo 8 y Núcleo 9 (Carrera 7 entre calles 26 y 28)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 30. Núcleo 10, Núcleo 11 y Núcleo 12 (Carrera 7 entre calles 28 y 30)
Fuente: de este estudio – 2016.



Fotografía 31. Núcleo 13 y Núcleo 14 (Carrera 7 entre calles 30 y 34)
Fuente: de este estudio – 2016.

5.5.9. Cálculo de la resistencia a la flexión a partir de la resistencia a la compresión

De acuerdo a numerosas investigaciones realizadas existen dos formas de correlacionar los valores de resistencia a la compresión con la resistencia a la flexión de un concreto, de las cuales la relación lineal definida como $f_r = k f'_c$ es aplicable para concretos con una resistencia a la compresión máxima de 280 kg/cm^2 y la relación $f_r = k (f'_c)^{0.5}$ la cual caracteriza de manera más real a concretos con resistencia mayores a 280 kg/cm^2 . Según el ACI, la resistencia a la flexión f_r para un concreto de peso normal, se aproxima a valores de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión f'_c .

Con base en lo anterior y con base en los resultados que se muestran en la tabla 12 del presente informe, considerando que se tienen valores de resistencia a la compresión superiores e inferiores al valor límite característico para selección de la correlación más apropiada para cálculo de la resistencia a la flexión del concreto, se realiza este cálculo con la correlación $f_r = k (f'_c)^{0.5}$, en donde $k = 2.32$; Los resultados de la resistencia a la flexión a partir de la resistencia a la compresión se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Cálculo resistencia a la flexión del concreto a partir de la resistencia a la compresión.

RESIST. CORREGIDA (PSI)	RESIST. CORREGIDA kg/cm ²	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN kg/cm ²
3449.24	241.45	36.05
3465.89	242.61	36.14
3324.09	232.69	35.39
3772.65	264.09	37.70
3780.44	264.63	37.74
3642.12	254.95	37.04
3825.69	267.80	37.97
3633.52	254.35	37.00
3545.48	248.18	36.55
3752.01	262.64	37.60
3766.39	263.65	37.67
3828.3	267.98	37.98
4315.39	302.08	40.32
5112.70	357.89	43.89
RESISTENCIA PROMEDIO	(PSI)	kg/cm ²
	3800.99	266.07
		37.79

Fuente: de este estudio - 2016.

5.5.10. Análisis para el chequeo de la estructura del pavimento

Con el propósito de obtener los parámetros para chequeo de la estructura del pavimento en concreto rígido, se realiza la definición del modelo geotécnico de la estructura existente a partir de los resultados de las exploraciones de campo entre las cuales se encuentran los apiques (excavaciones a cielo abierto con recuperación de muestras), PDC (CBR de campo sin recuperación de muestras) y toma de núcleos a la losa de concreto, de acuerdo a lo descrito en los numerales 5.5.5 a 5.5.8 del presente informe, obteniendo los resultados que se muestran en las figuras 24 y 25.

Se anota que los CBR para chequeo y diseño de la estructura de pavimento en concreto rígido se obtienen a partir de los resultados de PDC y CBR Método I. Ensayos anexos al presente informe y cuyos resultados se muestran en la tabla 11 y 14.

Tabla 18. Cuadro resumen resultados ensayo CBR de laboratorio método I.

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	PROCTOR MODIFICADO		CBR MÉTODO I			
		HUMEDAD ÓPTIMA	DENSIDAD MÁXIMA SECA	0.1 Pulg		0.2 Pulg	
				95%	98%	95%	98%
APIQUE A-1 PROFUNDIDAD = 1.70 metros	ARENA LIMOSA COLOR CREMA CLARO - SM	24.34	1.43	5.5	7.1	5.7	7.3
APIQUE A-2 PROFUNDIDAD = 0.60 metros	ARENA LIMOSA COLOR GRIS OSCURO - SM	19	1.83	9.5	13.4	10.6	14.0
APIQUE A-3 PROFUNDIDAD = 1.80 metros	ARENA LIMOSA COLOR GRIS OSCURO CON NEGRO - SM	14.33	1.65	6.8	7.5	7.2	7.8
APIQUE A-4 PROFUNDIDAD = 0.35 metros	GRAVA LIMOSA UNIFORME COLOR CAFÉ ROJIZO GM-GP	36.59	1.98	15.2	20.8	15.8	21.5
APIQUE A-5 PROFUNDIDAD = 0.60 metros	GRAVA UNIFORME COLOR GRIS CON NEGRO - GP	24.99	2.02	15.7	21.2	16.6	23.0
APIQUE A-6 PROFUNDIDAD = 2.00 metros	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO A NEGRO - SM	18.17	1.62	5.1	5.4	6.7	7.3

Fuente: de este estudio - 2016.



Figura 24. Modelo geotécnico para chequeo estructura de pavimento rígido a partir de apiques (excavaciones a cielo abierto con recuperación de muestras).

Fuente: de este estudio - 2016.

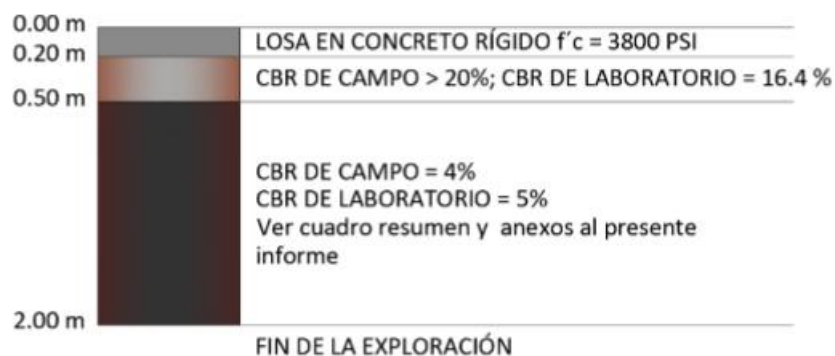


Figura 25. Modelo geotécnico para chequeo y diseño estructura de pavimento rígido a partir de PDC'S (CBR de campo sin recuperación de muestras) y CBR de laboratorio Método I.

Fuente: de este estudio - 2016.



De igual forma y con el propósito de realizar una evaluación de los materiales usados para construcción de la estructura del pavimento rígido, se realizó el chequeo de los mismos desde el punto de vista granulométrico con base en las Normas INVIAS para material de Afirmado, Sub base y Base, Artículos 311-13, 320-13, 330-13, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 19 y anexos al presente informe.

Tabla 19. Chequeo desde el punto de vista granulométrico materiales de Afirmado, Sub base y Base de acuerdo a Norma INVIAS Artículos 311-13, 320-13 y 330-13, Apiques A-1 a A-6, tramo vial en estudio.

REFERENCIA	CLASIFICACIÓN U.S.C.	NORMA DE CHEQUEO			
		AFIRMADO	SUB BASE GRANULAR	BASE GRANULAR	
		ART. 311-13 (A-38, A-25)	ART. 320-13 (SBG-50, SBG-38)	ART. 330-13 (BG-40, BG-27) GRADACIÓN GRUESA	ART. 330-13 (BG-38, BG-25) GRADACIÓN FINA
APIQUE A-1 PROFUNDIDAD = 0.20 m	SM	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
APIQUE A-2 PROFUNDIDAD = 0.30 m	SM	CUMPLE PARCIALMENTE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
APIQUE A-3 PROFUNDIDAD = 0.50 m	SM	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
APIQUE A-4 PROFUNDIDAD = 0.35 m	GM-GP	NO CUMPLE	CUMPLE PARCIALMENTE	CUMPLE PARCIALMENTE	CUMPLE PARCIALMENTE
APIQUE A-5 PROFUNDIDAD = 0.40 m	OL	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
APIQUE A-6 PROFUNDIDAD = 0.35 m	GM-GP	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE PARCIALMENTE	CUMPLE PARCIALMENTE
APIQUE A-5 PROFUNDIDAD = 0.60 m	GP	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE PARCIALMENTE	CUMPLE PARCIALMENTE
APIQUE A-6 PROFUNDIDAD = 1.40 m	GM	CUMPLE PARCIALMENTE	CUMPLE PARCIALMENTE	NO CUMPLE	CUMPLE PARCIALMENTE

Fuente: de este estudio - 2016.

5.5.11. Proceso de recopilación de información en el campo

Para desarrollo del presente proyecto de TPI, y de acuerdo con lo que se muestra en el numeral 5.5 del presente documento, la recopilación de la información de campo se realizó de forma manual y se generó evidencia del mismo mediante registro fotográfico.

En la realización de las exploraciones a cielo abierto (apiques), se empleó personal de campo, que con ayuda de herramienta menor construyeron excavaciones a una profundidad máxima de 2.00 metros con un ancho promedio de 1.0 x 1.0 metro. De los diferentes estratos identificados en el proceso, se realizó la toma de muestras del tipo alteradas, no siendo posible la toma de muestras inalteradas dada la naturaleza de los materiales presentes en el sector. Posteriormente y una vez realizado el registro de cada una de las exploraciones, la exploración fue sellada o tapada de forma manual procurando no dejar huella del trabajo realizado.



Para la toma de los núcleos de la losa del pavimento en concreto rígido, una vez definidos los sectores más apropiados de acuerdo a la inspección e inventario de daños, se empleó personal de campo que mediante el uso de un taladro eléctrico con broca diamantada de diámetro interno 7.21 centímetros realizó la toma de los mismos.

Para la elaboración de los PDC, se empleó personal de campo, que con ayuda del penetrómetro dinámico de cono realizó el ensayo dentro del orificio generado en la toma de los núcleos de concreto, alcanzando profundidades variables entre 0.50 y 2.00 metros de acuerdo a lo que se muestra en la tabla 10 del presente informe.

Una vez realizada la toma de núcleos y los ensayos de PDC, se procedió a sellar la abertura generada mediante el uso del aditivo hardtop No. 4.

5.5.12. Almacenamiento y presentación de datos e información

Una vez realizados los procedimientos que se detallan en el numeral anterior, la información obtenida en campo fue procesada en oficina y se generó archivo en medio digital, mediante el uso de programas procesadores de texto como Word y Excel, en los cuales se diseñaron los diferentes formatos para desarrollo del presente TPI y formatos disponibles para registro de las exploraciones de campo y diferentes ensayos de laboratorio realizados tales como, Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), clasificación de materiales, corte directo del tipo (UU), CBR de laboratorio método I, entre otros.

Todos los resultados obtenidos a partir de la información de campo y procesamiento en oficina se muestran en el **Anexo G** del presente informe de TPI.

5.5.13. Análisis de resultados de las exploraciones de campo

Teniendo en cuenta los resultados de las exploraciones de campo y ensayos de laboratorio realizados, en el tramo vial en estudio se encuentra una estructura de pavimento rígido de acuerdo a lo que se muestra en las figuras 24 y 25 del presente informe y que se describe a continuación:



La estructura del pavimento en concreto rígido, se encuentra conformada por una losa en concreto hidráulico de espesor variable entre 18 y 24 centímetros con una resistencia promedio a la compresión de 266 Kg/cm^2 y una resistencia a la Flexión deducida a partir de la resistencia a la compresión de 37.80 Kg/cm^2 , aspecto deducido a partir de la toma de núcleos de acuerdo a lo descrito en el numeral 5.5.8 y 5.5.9 del presente informe.

De igual forma a estos núcleos, se les realizó la prueba de fenolftaleína encontrando que el pH de los núcleos se encuentra dentro del rango de 8 a 9.5 (alcalino), además registrando el color sobre toda la sección del núcleo revelando que no hay indicios de carbonatación, resultados que se muestran en el numeral 5.6 y **Anexo H**.

La losa de concreto descrita anteriormente, se encuentra apoyada sobre un material de base, conformando así la estructura del pavimento, con un espesor promedio de 30 centímetros conformado predominantemente por gravas y arenas limosas, aspecto deducido a partir de las exploraciones a cielo abierto (apiques) y que se describen en el numeral 5.5.7 del presente informe y anexos, el cual según las especificaciones para material de sub-base granular SBG-50 y SBG-38 de acuerdo a Norma INVIAS Artículo 320-13 cumple parcialmente en los sectores del apique A-4 y A-6, cumple en los sectores de los apiques A-5 y A-6 y no cumple en los sectores de los apiques A-1, A-2, A-3 y A-5. De igual forma según las especificaciones para material de base granular gradación gruesa BG-40 y BG-27 de acuerdo a Norma INVIAS Artículo 330-13 cumple parcialmente para los sectores de los apiques A-4, A-5 a una profundidad de 0.60 metros y A-6, y no cumple para los sectores de los apiques A-1, A-2, A-3, A-5 a una profundidad de 0.40 metros y A-6. Por último, según las especificaciones para material de base granular gradación fina BG-38 y BG-25 de acuerdo a Norma INVIAS Artículo 330-13 cumple parcialmente para los sectores de los apiques A-4, A-5 y A-6 y no cumple para los sectores de los apiques A-1, A-2, A-3 y A-5 a una profundidad de 0.40 metros, aspecto que se muestra en la tabla 19 y **Anexo G**.

Para este estrato y de acuerdo a los resultados de los ensayos de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) y CBR de laboratorio método I, se tiene un CBR de 20% y 16.4% respectivamente, con el cual se caracteriza mecánicamente este material y se recomienda realizar el chequeo de la estructura de pavimento. Los resultados de los ensayos referenciados anteriormente, se pueden observar en la tabla 14 y **Anexo G**.



Finalmente, y por debajo de la estructura de pavimento descrita anteriormente, se presenta el estrato natural predominante en el sector en estudio, el cual se trata de arenas limosas y limos orgánicos poco plásticos color café a negro de diferentes tonalidades, el cual, de acuerdo a los resultados de los ensayos de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) y CBR de laboratorio método I, se tiene un CBR de 4% y 5% respectivamente. Los resultados de los ensayos referenciados anteriormente, se pueden observar en la tabla 14 y **Anexo G**.

El nivel freático no se presentó ni identificó en ninguna de las exploraciones realizadas en desarrollo del presente proyecto.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, se concluye desde el punto de vista geotécnico que el material usado para conformación de la estructura del pavimento en el tramo en estudio no tiene un adecuado control de compactación, que de acuerdo a especificaciones para este tipo de proyectos debería ser del 95 al 98% del proctor modificado, del cual se obtiene un CBR promedio de 20% y 16.4%, valor que es relativamente bajo teniendo en cuenta el porcentaje de compactación requerido. Además, se encuentra un inadecuado control en la conformación de la estructura del pavimento ya que el material encontrado cumple parcialmente en algunos tramos y no cumple en otros tramos, dentro de la longitud total en estudio para desarrollo del presente proyecto, con las especificaciones para sub-base granular y base granular de acuerdo a Norma INVIAS, presentando heterogeneidad dada la presencia de sobre tamaños, aspecto, que genera altos valores de CBR de campo al encontrar rebote a bajas profundidades en el desarrollo del ensayo con el PDC, aspecto que se puede observar en detalle en el registro del ensayo que forma parte del **Anexo G**.

5.6. PRUEBA DE FENOLFTALEÍNA

El ensayo de coloración por fenolftaleína se realizó a los núcleos de concreto tomados en sectores del tramo vial en estudio de acuerdo a lo anotado en el numeral 5.5.8 del presente documento, retirando el polvo superficial de las caras del núcleo de concreto e inmediatamente a continuación se aplicó mediante un pulverizador la disolución de fenolftaleína al 1% en alcohol etílico. En pocos minutos se produce la coloración de las diferentes zonas y mediante un calibre se mide la “profundidad de carbonatación”.

El indicador de pH de fenolftaleína permite diferenciar tres zonas de pH, inferior a 8, donde la disolución se torna incolora, entre 8 y 9,5, donde adquiere una tonalidad rosa suave, y mayor de 9,5, donde adquiere un color rojo púrpura intenso (Figura 26). En la prevención de la corrosión del hormigón armado la coloración por fenolftaleína es una técnica muy utilizada ya que a pH por debajo de 8 el acero se puede corroer, mientras que a pH muy alcalinos se encuentra pasivo. A la profundidad que alcanza la zona de pH inferior a 8, zona incolora, se le suele llamar “profundidad de carbonatación”. (Galán, 2011).



Figura 26. Tonalidades de referencia ensayo de la fenolftaleína
Fuente: Galán García Isabel, 2011.

En el **Anexo H** del presente informe, se encuentra el registro fotográfico completo de la prueba de fenolftaleína realizados a los núcleos de concreto tomados a la losa de la vía en estudio.

En la fotografía 32, se muestra la coloración que tomaron algunos de los núcleos extraídos con una tonalidad *rosa suave*, lo cual indica que el pH de los núcleos se encuentra dentro del rango de 8 a 9.5 (alcalino), además registrando el color sobre toda la sección del núcleo revelando que no hay indicios de carbonatación.



Fotografía 32. Núcleo 1, Núcleo 2 y Núcleo 3 (Carrera 7 entre calles 24 y 25)
Fuente: de este estudio – 2016.

Los resultados obtenidos a partir del ensayo de fenolftaleína para los núcleos tomados de la losa de concreto del pavimento en el tramo vial en estudio, se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados indicador de pH disolución de fenolftaleína núcleos de concreto losa pavimento.

NÚCLEO No.	REFERENCIA	TONALIDAD PRUEBA DE FENOLFTALEÍNA	pH
1	Cuadra No. 1 - entre calles 24 y 25	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
2	Cuadra No. 1 - entre calles 24 y 25	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
3	Cuadra No. 1 - entre calles 24 y 25	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
4	Cuadra No. 2 - entre calles 25 y 26	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
5	Cuadra No. 2 - entre calles 25 y 26	Zona 3: Rojo púrpura intenso	$\text{pH} > 9.5$
6	Cuadra No. 2 - entre calles 25 y 26	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
7	Cuadra No. 3 - entre calles 26 y 26A	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
8	Cuadra No. 4 - entre calles 26A y 27	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
9	Cuadra No. 5 - entre calles 27 y 28	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
10	Cuadra No. 6 - entre calles 28 y 29	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
11	Cuadra No. 7 - entre calles 29 y 29A	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
12	Cuadra No. 8 - entre calles 29A y 30	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
13	Cuadra No. 9 - entre calles 30 y 31	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
14	Cuadra No. 11 - entre calles 32 y 34	Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$

Posibles resultados prueba de fenolftaleína	Rango
Zona 1: Incolora	$\text{pH} < 8$
Zona 2: Tonalidad rosa suave	$8 < \text{pH} < 9.5$
Zona 3: Rojo púrpura intenso	$\text{pH} > 9.5$

Fuente: de este estudio - 2016.

5.7. LOCALIZACIÓN POSICIONAMIENTO DE DOVELAS

Se determina de acuerdo al diseño, se consideran dovelas entre losas, en un diámetro superior a 1" liso, con una longitud de 35cm, distanciados a 30cm como máximo, centro a centro. Esta verificación se realizó en sitios aleatorios dentro del proyecto, utilizando equipo detector de refuerzo. Así mismo se establece que no existen daños de borde de acuerdo a la evaluación del pavimento, descartando problemas por ausencia o defectos en la colocación de refuerzo longitudinal o transversal.



Fotografía 33. Localización de refuerzo transversal
Fuente: Fuente: de este estudio – 2016



Fotografía 34. Mediciones para localización de refuerzo transversal
Fuente: de este estudio – 2016



Fotografía 35. Mediciones para localización de refuerzo transversal
Fuente: de este estudio – 2016



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Dimensiones:	225 mm altura x 98 mm ancho x 57 mm fondo.
Peso:	286 gr sin batería.
Tipo de batería:	9-V alcalina (incluidas).
Posición:	Centro de barra #4 (1/2 in.)
Exactitud:	Indica metales a una profundidad de 13 mm hasta una profundidad de 152 mm. Señala el tipo de metal, muestra la profundidad del metal en milímetros y pulgadas.
Profundidad:	Hasta 152 mm (6 pulgadas) ± 25 mm (1 pulg.)
T° de operación:	20° a 120°F (-7° a 49°C)
T° de almacenamiento:	-20 a 150°F (-29° a 66°C)
Humedad:	80% H.r (sin condensación)
Resistencia al agua:	Resistente al agua y a las salpicaduras, no es impermeable.

Figura 27. Especificaciones técnicas detector de metales.
Fuente: Datos de fabricante. ZIRCON MT 6.

De acuerdo a los requerimientos de los parámetros para la modelación de la estructura, se utilizó el detector de metales de la marca ZIRCON MT 6, siguiendo los procedimientos establecidos para su calibración en campo y utilización.

Considerando que no fue posible obtener permisos para realizar pruebas destructivas de auscultación de refuerzo de transferencia de carga y de anclaje, fue preciso la utilización de un método no destructivo, el cual arrojó resultados satisfactorios.

El detector permite una profundidad de verificación de $6'' \pm 1''$, es decir 15cm. Para el caso del pavimento analizado, de un espesor total de 20cm, el refuerzo debía estar localizado a $h/2$ es decir a 10cm de profundidad. Así, el aparato tenía la capacidad de localizar los elementos embebidos en el concreto.

El procedimiento desarrollado fue práctico, ya que se requirió detener el tráfico unos cuantos minutos en la zona a verificar. Una vez determinada de forma aleatoria las juntas a verificar, y previa calibración del aparato, se procedió a ubicarlo sobre la superficie de tal manera que siguiera la trayectoria de la junta de dilatación del pavimento. Se realizaron recorridos con el aparato, de tal manera que si el detector de metales indicaba un signo grande



"más" en la pantalla significaba la presencia del refuerzo, se procede a realizar una marca en la superficie y dar otra pasada para corroborar. Cuando este signo "más" se convierte en un signo "menos", el detector de metales ha pasado el objeto.

Otra característica del detector de metales es un mecanismo de indicación que muestra en centímetros o pulgadas a qué profundidad se encuentra el metal detectado. La pantalla LCD de fácil lectura muestra con precisión el lugar en el que se halla el metal. La distancia máxima entre el objeto y el detector de metales es de 152 mm.

El diámetro de las dovelas se verificó con base en la información suministrada por la interventoría de la obra de pavimentación contigua al sitio del proyecto, donde para la ejecución de dicha obra, descubrieron el refuerzo de las losas en el tramo de inicio del proyecto.

5.8. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE REDISEÑO Y CHEQUEO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

5.8.1. Chequeo de diseño por el método de la PCA y por la metodología AASHTO 93

Para el retro cálculo de la estructura se optó por realizarlo con éstas dos metodologías puesto que permiten el análisis de la estructura respecto a las principales variables encontradas en los ensayos de campo y laboratorio como, por ejemplo:

- Espesor del pavimento
- Drenaje
- Resistencia de la subrasante
- Resistencia de diseño del concreto
- Resistencia de la capa de apoyo de la losa de concreto (k)
- Bases para el pavimento
- Soporte del conjunto subrasante – sub-base de diseño
- Tránsito futuro
- Transferencia de carga
- Bermas de concreto

Como se verá en los resultados del **Anexo I**, los resultados encontrados con los dos métodos son coherentes y coincide con lo encontrado en obra.

5.8.2. Modelo de la estructura de pavimento

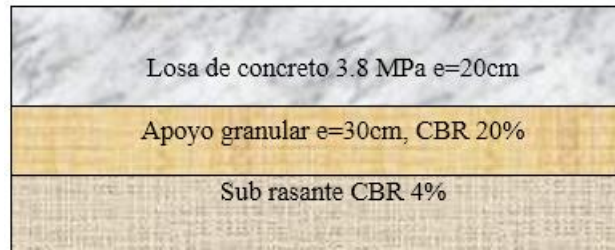


Figura 28. Modelo de la estructura del pavimento
Fuente: de este estudio – 2016.

5.8.3. Análisis de resultados del chequeo de diseño de la estructura del pavimento

Se tiene que la estructura seleccionada tiene un consumo por fatiga igual a 394.65% lo cual evidencia la falla de las losas por causa de la falta de confinamiento en los primeros años de operación. La estructura no tuvo la suficiente protección contra la acción de esfuerzos producidos por la acción repetida de las cargas.

Así mismo, tiene un consumo total por erosión de 14.29%, es decir en el chequeo del diseño predomina el consumo de fatiga, que es lo que generalmente ocurre en este tipo de estructuras. Este bajo consumo de erosión limita los efectos de la deflexión en los bordes de la losa, juntas y esquinas.

La evaluación de la estructura para el estado actual (año 2016) y para el término del periodo de diseño (2026) con el tránsito actual y con bermas construidas (andenes en concreto) indica que tiene un consumo de 0%, sin embargo se conoce que durante los tres primeros años las repeticiones de carga en la estructura de pavimento sin berma, ocasionaron el consumo por fatiga de 394.65% lo cual se traduce en la aparición de fisuras que no se pudieron controlar con la construcción posterior de bermas. El confinamiento actual ni la calidad de la capa granular de apoyo no resultan efectivos para el control de los daños preexistentes.



Es de importancia resaltar que, de acuerdo a los estudios de mecánica de suelos y caracterización, se encontró que el material de base no cumple con la granulometría para material de base o sub-base del INVIAS, así mismo que su CBR tiene un valor menor al especificado para dichos materiales.

Para las condiciones de tránsito evaluado, se debió utilizar un concreto de 4.1 MPa o superior, tal como lo establece la norma INVIAS en su manual de diseño de pavimentos de concreto. Esto permite una mejor resistencia ante esfuerzos cíclicos que infieren en la resistencia a la fatiga del material.



6. DIAGNÓSTICO

De acuerdo a la localización de las lesiones, sondeos, exploraciones, análisis de laboratorio efectuados a los materiales y modelación de la estructura del pavimento en concreto rígido, se logró establecer que las causas reales del deterioro del mismo están relacionadas principalmente a causas mecánicas, en primer lugar debido a la ausencia de confinamiento lateral durante los primeros 3 años de operación de la vía, aspecto verificado como resultado del chequeo realizado al diseño de la estructura del pavimento, situación que provocó una fisuración prematura de las losas por el consumo por fatiga superior al 100%; y que aunado a la baja calidad (características físico-mecánicas) de los materiales de la capa de mejoramiento (sub-base), materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas del INVIAS, los cuales son caracterizados con valores de CBR de 20%, dada la presencia de sobre tamaños, que son clasificados como gravas limosas - uniformes y materiales de la subrasante caracterizada con un valor promedio de CBR de 4% para materiales tales como arenas limosas y limos orgánicos con valores de ángulos de fricción interna y cohesión relativamente bajos, como se logró corroborar con el estudio geotécnico, permitieron que las fisuras sean activas permitiendo en algunos sectores la filtración de aguas de escorrentía dejando expuesto al pavimento a un deterioro progresivo, al no tener la suficiente capacidad para soportar las cargas para las que fue diseñado.

El CBR del material de subrasante y del apoyo con base en los ensayos de campo y laboratorio realizados, permitieron deducir un módulo de reacción de conjunto utilizado en la modelación y chequeo de la estructura, la cual resultó suficiente para el tránsito de diseño proyectado con los conteos vehiculares actuales. Dada la localización de las fisuras longitudinales, se considera que existe una relación entre las fisuras longitudinales y la franja de relleno de alcantarillado, por lo cual se determina que ésta es otra causa de los daños encontrados en el tramo vial en estudio por fallas en el proceso constructivo, inadecuada selección de material para relleno y deficiente compactación del mismo.



7. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

7.1. CONSIDERACIONES DE LA METODOLOGÍA

Esta sección del documento contiene las actividades de intervención definidas para la estructura del pavimento dentro del **ESTUDIO PATOLÓGICO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PASO NACIONAL POR IPIALES CARRETERA GUACHUCAL - IPIALES PR 21+800 – PR 23+800. CARRERA 7 ENTRE CALLES 24 Y 34 IPIALES (NARIÑO).**

Dependiendo de las características específicas de sector, de la condición de deterioro actual y de las características prevalecientes del tránsito actuante, se plantean estrategias de intervención para mantener las características funcionales del pavimento, garantizando condiciones de economía, seguridad y confort para los usuarios de las vías.

Ante cualquier discrepancia de conceptos técnicos que se puedan generar en la aplicación del presente, se precisa que las especificaciones particulares presentadas en el **Anexo J - especificaciones técnicas para desarrollo del proyecto de intervención de la estructura del pavimento en el tramo en estudio**, priman sobre lo aquí descrito.

Para la elaboración de la intervención propuesta, se hace claridad en que la vía actualmente no tiene presencia de desniveles, escalonamientos ni baches que afecten el servicio o la comodidad del usuario, tanto entre juntas como en grietas.

De acuerdo con el análisis de resultados de la fase de diagnóstico, se llegó a la principal conclusión que los daños en la vía son progresivos en grietas, las cuales fueron generadas en los tres primeros años de puesta en servicio la vía al no contar con las condiciones de diseño (sin bermas) provocando así el consumo total por fatiga de material de concreto, además de presentar deficiente calidad en los materiales de la capa de mejoramiento. Para el caso de fisuras catalogadas como de severidad baja, si bien es cierto éstas se presentaron dentro de los tres primeros años, las mismas no evolucionaron a estados más severos, esto bajo la explicación de que una vez se construyeron andenes (confinamiento) el chequeo de la estructura en condiciones actuales indica que la misma es competente ante las solicitudes, de tal manera que se debe proveer de sello de fisuras de baja severidad como protección para evitar el ingreso de agua y deterioro de la base de apoyo.



En este sentido, la intervención de rehabilitación que se propone realizar es de tipo superficial y de tipo estructural. La de tipo superficial ayudará a resolver los problemas que se encuentran confinados usualmente dentro de los 100 mm superiores del pavimento, que para éste caso son los deterioros (fisuras) que presentan un nivel de severidad baja y deterioros superficiales tales como desportillamiento de juntas. En la rehabilitación de tipo estructural ya es una solución a largo plazo, dado que, para éste caso patológico se requiere reemplazar o mejorar las características geo mecánicas del material de la sub-base, por lo tanto, se propone rehabilitar en un sentido de mejoramiento significativo, ya que la opción consiste en reemplazar la losa de concreto rígido y el material de sub-base, cumpliendo así, con los lineamientos establecidos por el Instituto Nacional de Vías INVIAS mediante las especificaciones técnicas del año 2013; esta intervención se ejecutará en las losas afectadas que presenten un nivel de severidad alto y medio para el tipo de deterioro definido y clasificado como grietas en el manual de inspección visual para pavimentos rígidos del INVIAS.

7.1.1. Objetivos

- Detener el avance del deterioro.
- Recuperar la capacidad estructural del pavimento.
- Mejorar y conservar la transitabilidad – seguridad.
- Alcanzar la vida útil del proyecto.
- Extender la serviciabilidad del pavimento.
- Minimizar la infiltración de agua y materiales incompresibles.

7.1.2. Alcances de la intervención

La aplicación del presente alcance de intervención de la vía en estudio, involucra la ejecución de ciertas actividades, que dependen básicamente del tipo de estructura de pavimento existente, la condición de estado obtenido de la inspección visual realizada y la definición de características de geometría vial y el chequeo de su condición estructural.

A continuación, se relacionan las estrategias de intervención especificadas para cada tipo de estructura de pavimento rígido:



a. Intervención tipo superficial:

- Resellado de Juntas.
- Sellado de Fisuras.

b. Intervención tipo estructural:

- Reemplazo de losa y base granular.

7.2. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO

A partir de los alcances de la intervención, se propone las siguientes actividades de reparación de acuerdo al tipo de deterioro que a continuación se definen.

7.2.1. Intervención tipo superficial

Este procedimiento relaciona los trabajos y parámetros de ejecución para el resellado y reparación de juntas (reparación a profundidad parcial) con ancho inferior a 12 mm, y sello de grietas con severidad baja empleando asfaltos modificados, con el objetivo de evitar el ingreso de agua y elementos incompresibles hacia la base.

Esta actividad de intervención únicamente deberá ser ejecutada en aquellos sectores viales presentados de acuerdo al inventario de daños, calificados como desportillamiento de juntas (DPT) con severidad baja y media, y grietas (longitudinal, transversal y de esquina) con severidad baja. Ver **Anexo B – Inventario de daños y registro fotográfico**, realizado en el presente estudio

Las normativas, materiales, equipo, procedimiento y criterios a tener en cuenta en la ejecución para este tipo de reparaciones, se describen en los **numerales 1 y 2 del Anexo J - Especificaciones técnicas para desarrollo del proyecto de intervención de la estructura del pavimento en el tramo en estudio**.

7.2.2. Intervención tipo estructural

Los trabajos expuestos en esta intervención, consistirán en la reparación profunda total de las losas no reforzadas defectuosas, con el fin de restaurarlo a un estado que se ajuste a su condición de servicio aceptable a bueno.

Estos trabajos incluyen la remoción total de losas y reemplazo de material de sub-base que muestren un avanzado estado de fracturación múltiple; agrietamiento o deformaciones, es decir severidad media y alta.

Esta actividad de intervención solo deberá ser ejecutada en aquellos tramos viales que presente los siguientes deterioros: grietas longitudinales, transversales, en bloque, de esquina, grietas en pozos y sumideros, que han sido calificados con **severidad media y alta**. Ver **Anexo B – Inventario de daños y registro fotográfico**.

Para el reemplazo profundo total de losa de concreto y sub-base, se deberá tener en cuenta las especificaciones del modelo de intervención, detalladas en los esquemas de las figuras 29, 30 y 31.



Figura 29. Límites de reparación total profunda de acuerdo al nivel de severidad.

Fuente: de este estudio – 2016 (adaptado de ACPA)

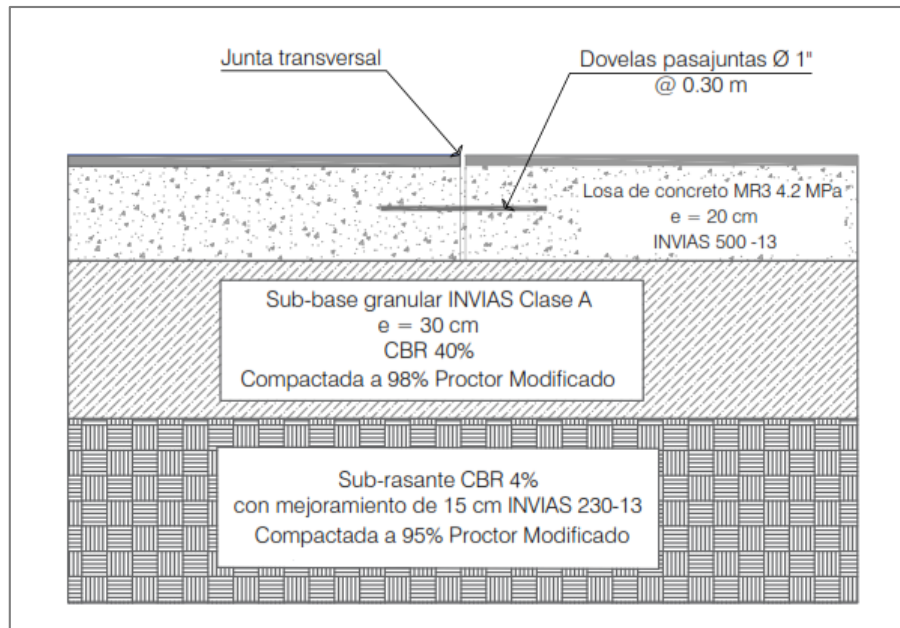


Figura 30. Sección transversal - modelo de intervención
Fuente: de este estudio -2016

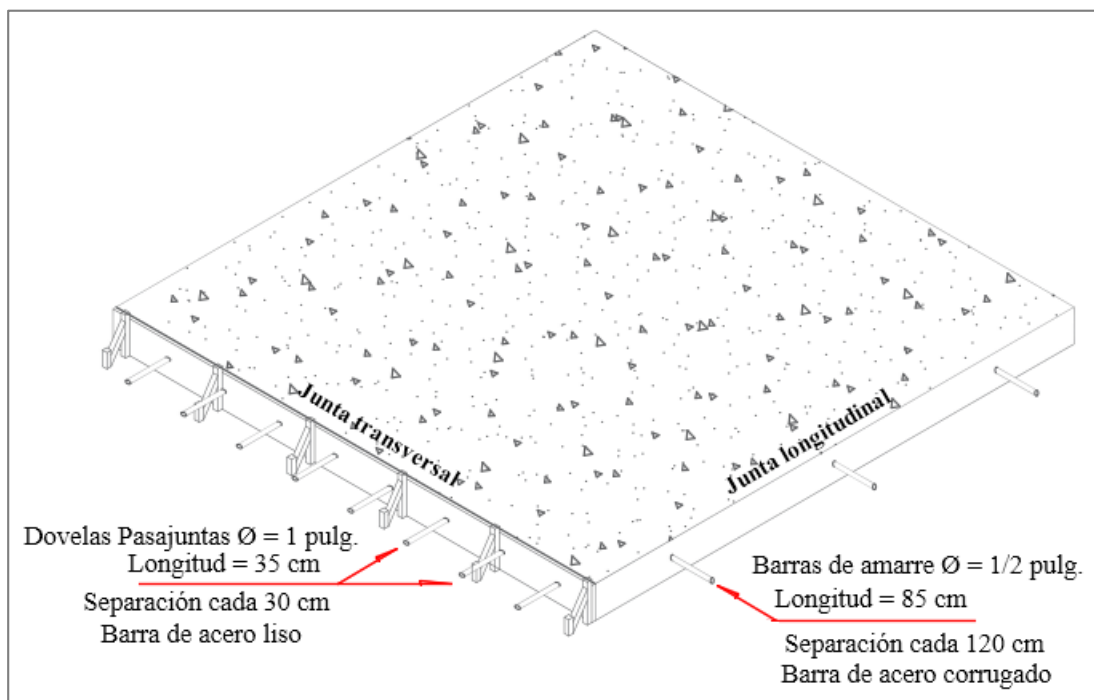


Figura 31. Detalle dovelas y barras de amarre – modelo de intervención
Fuente: de este estudio – 2016.

Las normativas, materiales, equipo, procedimiento y criterios a tener en cuenta en la ejecución para este tipo de reparación, se describen en el **numeral 3 del Anexo J - Especificaciones técnicas para desarrollo del proyecto de intervención de la estructura del pavimento en el tramo en estudio.**

Dichas actividades están definidas dependiendo del tipo de daño, extensión y severidad, y como una guía en la tabla 21 donde se expone la actividad a ejecutar dependiendo del tipo de deterioro y nivel de severidad encontrado.

Tabla 21. Actividades de intervención recomendadas para el pavimento rígido de estudio.

ACTIVIDADES DE INTERVENCIÓN			
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD	TIPO DE REPARACIÓN	ÁREA A INTERVENIR m²
1. GRIETAS			
Grieta longitudinal	Bajo	Sello de grietas	107
	Medio	Reemplazo de losa y base granular	755
	Alto		1095
Grieta transversal	Bajo	Sello de grietas	1
	Medio	Reemplazo de losa y base granular	15
	Alto		44
Grieta en bloque	Bajo	N/A	-
	Medio	N/A	-
	Alto	Reemplazo de losa y base granular	276
Grieta en esquina	Bajo	Sello de grietas	1
	Medio	Reemplazo de losa y base granular	15
	Alto		15
Grieta en pozos y sumideros	Bajo	N/A	-
	Medio	Reemplazo de losa y base granular	15
	Alto		-
2. DETERIOROS SUPERFICIALES			
Desportillamiento de juntas transversales	Bajo	N/A	-
	Medio	Reparación a profundidad parcial	0.3
	Alto	Reparación a profundidad total	-
Cabezas Duras	Bajo	N/A	-
	Medio	N/A	-
	Alto	N/A	-

Fuente: de este estudio – 2016

8. ANÁLISIS DE COSTOS Y PRESUPUESTO DE INTERVENCIÓN

Esta sección del documento contiene el análisis de costos de intervención de acuerdo a las actividades de intervención definidas para la estructura del pavimento dentro del **ESTUDIO PATOLÓGICO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PASO NACIONAL POR IPIALES CARRETERA GUACHUCAL - IPIALES PR 21+800 – PR 23+800. CARRERA 7 ENTRE CALLES 24 Y 34 IPIALES (NARIÑO).**

El presupuesto general se muestra en la tabla 22.

Tabla 22. Actividades de intervención recomendadas para el pavimento rígido de estudio.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
I	INFRAESTRUCTURA VIAL				
1	ACTIVIDADES PRELIMINARES				
1.01	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	M2	2,969.250	\$ 951.00	\$ 2,823,756.75
	Sub Total:				\$ 2,823,756.75
2	REPARACIÓN A PROFUNDIDAD PARCIAL Y RESELLADO DE JUNTAS CON ANCHO INFERIOR A 12 mm				
2.01	RESELLADO DE JUNTAS EN PAVIMENTO RÍGIDO MENORES A 12 MM DE ANCHO. INCLUYE PREPARACIÓN, LIMPIEZA, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CINTILLA Y SELLO DE SILICONA	ML	14.800	\$ 7,010.00	\$ 103,748.00
	Sub Total:				\$ 103,748.00
3	SELLO DE GRIETAS - SEVERIDAD BAJA				
3.01	SELLADO GRIETAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS CON ANCHO SUPERIOR A 12 MM USANDO ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TIPO POLYBIT O SIMILAR) INCLUYE LIMPIEZA DE LA GRIETA, PREPARACIÓN Y RUTEADO	ML	217.560	\$ 8,065.00	\$ 1,754,621.40
	Sub Total:				\$ 1,754,621.40
4	REEMPLAZO DE LOSAS SIN REFUERZO				
4.01	CORTE Y DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO (INCLUYE CARGUE, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL)	M3	445.850	\$ 149,185.00	\$ 66,514,132.25
4.02	EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL MIXTO (INCLUYE CARGUE, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL)	M3	1,003.163	\$ 40,572.00	\$ 40,700,308.95
4.03	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MEJORAMIENTO COMPACTADO AL 95% DEL PROCTOR MODIFICADO E:15cm	M3	334.388	\$ 118,904.00	\$ 39,760,011.30
4.04	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SUB-BASE GRANULAR COMPACTADA AL 98 % DEL PROCTOR MODIFICADO E:30cm	M3	668.775	\$ 118,904.00	\$ 79,520,022.60
4.05	CONCRETO HIDRÁULICO PREMEZCLADO PARA PAVIMENTOS - MR3 DE 4.2 Mpa E:20cm ACELERADO A 3 DÍAS (INCLUYE FORMALETEADO, SUMINISTRO, INSTALACIÓN, CURADO, SELLADO DE JUNTAS Y ACERO DE TRANSFERENCIA DE CARGA)	M3	445.850	\$ 574,763.00	\$ 256,258,083.55
	Sub Total:				\$ 482,752,558.65
CD	COSTO DIRECTO				\$ 487,434,684.80
A	Administración	23%			\$ 112,109,977.50
U	Utilidad	5%			\$ 24,371,734.24
I	Imprevistos	2%			\$ 9,748,693.70
ST	SUB TOTAL				\$ 633,665,090.24
IV	Interventoria	5%			\$ 31,683,254.51
CT	COSTO TOTAL				\$ 665,348,344.75

Fuente: de este estudio – 2016



En la elaboración del presupuesto de obra, se consideró un AUI y precios unitarios de actividades de acuerdo a los porcentajes y rangos del mercado que en la actualidad están vigentes.

En el **Anexo K**, se expone al detalle el cronograma de actividades, el flujo de caja y el análisis de precios unitarios de cada una de las actividades o ítems y se incluye el presupuesto de ejecución de obras para el proyecto de acuerdo a lo especificado en la propuesta de intervención definida de acuerdo a los resultados de los diferentes ensayos de campo y laboratorio realizados, y modelación de la estructura de pavimento.



9. CONCLUSIONES

Después de haber realizado el estudio patológico al sector vial de la carrera 7 entre calles 24 y 34 del municipio de Ipiales (Nariño), se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Al realizar la sectorización (11 cuadras) y proceder al inventario de daños se identifica que el deterioro con mayor predominancia es el denominado como grieta longitudinal. De las 1020 losas inspeccionadas, 207 losas presentan algún tipo de lesión tales como: grieta transversal, grieta longitudinal, grieta de esquina, grieta en bloque, grieta en pozos y sumideros, desportillamiento de juntas transversales y cabezas duras, de las cuales 172 losas presentan grieta longitudinal teniendo mayor incidencia sobre la cuadra No.1 (carrera 7 entre calles 24 y 25) además presentando un mayor deterioro con relación a los demás sectores, cabe destacar, que éste sector experimentó cargas de tráfico pesado superiores a la de los demás sectores debido a la construcción de un centro comercial.

A partir del análisis y evaluación del índice de condición de pavimento (PCI) por cada sector se determina que la cuadra No. 1 (carrera 7 entre calles 24 y 25), presenta un porcentaje de 58.5% de losas afectadas con respecto al total de placas construidas sobre este sector, y con un PCI de 21 obteniendo una clasificación de estado *malo*, por lo tanto, basándose en los resultados anteriores y considerando los resultados de las pruebas de campo y de laboratorio de la capa de mejoramiento (sub-base), indica que este sector requiere de una rehabilitación de tipo estructural en un sentido de mejoramiento significativo sobre las losas que presentan un deterioro con severidad más crítica (alto y medio), es decir, el procediendo consiste en reemplazar el material de base granular por uno que cumpla con las especificaciones técnicas del INVIAS y reemplazo de la losa, ajustándose a los espesores de la estructura del pavimento existente.

En el sector de la cuadra No. 2 (carrera 7 entre calles 25 y 26) se presenta un porcentaje de 32.4% de losas afectadas con respecto al total de las losas construidas sobre ese sector y con un índice de condición del pavimento PCI de 51 obteniendo una clasificación de estado *regular*, por lo tanto, basándose en los resultados anteriores y los resultados de las pruebas de campo y de laboratorio, es necesario también considerar una rehabilitación de tipo



estructural, enfocada principalmente a las losas que presenten un deterioro con severidad más crítica (alto y medio).

En los sectores cuadra No. 4 (carrera 7 entre calles 26A y 27) y cuadra No. 5 (carrera 7 entre calles 27 y 28), presentan un índice de condición del pavimento PCI de 68 y 61 respectivamente, obteniendo una clasificación de estado *bueno*, en los sectores de la cuadra No. 3 (carrera 7 entre calles 26 y 26A), cuadra No. 6 (carrera 7 entre calles 28 y 29) y cuadra No. 11 (carrera 7 entre calles 32 y 34), presentan un índice de condición del pavimento PCI de 82, 80 y 83 respectivamente, obteniendo una clasificación de estado *muy bueno*, y en los sectores cuadra No. 7 (carrera 7 entre calles 29 y 29A), cuadra No. 8 (carrera 7 entre calles 29A y 30), cuadra No. 9 (carrera 7 entre calles 30 y 31), cuadra No. 10 (carrera 7 entre calles 31 y 32) presentan un índice de condición del pavimento PCI de 90, 92, 85 y 100 respectivamente, obteniendo una clasificación de estado *excelente*. Para estos sectores es necesario considerar también una rehabilitación estructural para las losas que presenten un deterioro con severidad alto y medio, y una reparación superficial de sello de grietas con severidad baja, con el propósito de impedir la filtración de agua y conservar en buen estado las capas inferiores de la estructura del pavimento.

Para los sectores con clasificación del índice de condición del pavimento PCI, para los estados bueno, muy bueno y excelente es importante aclarar que estos sectores no han sido expuestos a cargas de tráfico pesado en los mismos niveles como en el caso de la cuadra No. 1, pero aun así han presentado grietas, que de acuerdo a los análisis que se ha realizado en este estudio se originaron durante los 3 primeros años de operación de la vía por falta de confinamiento lateral (falla por fatiga), una vez se realizó el confinamiento lateral (construcción de andenes) se restringió estas deformaciones y posible aparición de más fisuras. Considerando lo anterior, para el caso de la cuadra No. 1 por la carga de tráfico pesado que experimentó aceleró su proceso de deterioro.

En la modelación y chequeo de la estructura de pavimento, el módulo de reacción de la capa de apoyo se calculó con base en las pruebas de campo y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, los valores encontrados para el conjunto subrasante – base de apoyo fueron aceptables para las solicitaciones de carga, donde para el periodo de diseño de 20 años, se cumplen las condiciones de diseño.



La cuantificación del tránsito actual se realizó por medio de aforos obtenidos de un circuito cerrado de televisión ubicado de tal manera que permite el conteo vehicular. Este conteo se realizó para una semana por las veinticuatro horas. El cálculo del TPDs permitió proyectar el tránsito al periodo de diseño, a las condiciones iniciales y al año 2010 para modelar la situación antes y después de la construcción de bermas o andenes.

El tránsito de chequeo se cuantificó en $7.40E+06$ el cual se clasifica como tránsito NT3 o nivel de tránsito tres. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras es superior a 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño. Para este tipo de tránsito las especificaciones de materiales son mayores, de tal manera que se requiere una sub-base de granular tipo INVIAS Clase A y un módulo de rotura MR3 de 4.2MPa para un número de camiones superiores a C2G por día entre 140 – 300.

Para las condiciones del año 2010, Se tiene que la estructura seleccionada tiene un consumo por fatiga igual a 394.65% lo cual evidencia la falla de las losas por causa de la falta de confinamiento en los primeros años de operación. La estructura no tuvo la suficiente protección contra la acción de esfuerzos producidos por la acción repetida de las cargas.

Para el mismo año, se tiene un consumo total por erosión de 14.29%, es decir en el chequeo del diseño predomina el consumo de fatiga, que es lo que generalmente ocurre en este tipo de estructuras. Este bajo consumo de erosión limita los efectos de la deflexión en los bordes de la losa, juntas y esquinas.

La evaluación de la estructura para el estado actual (año 2016) y para el término del periodo de diseño (2026) con el tránsito actual y con bermas construidas (andenes en concreto) indica que tiene un consumo de 33.78%, sin embargo se conoce que durante los tres primeros años las repeticiones de carga en la estructura de pavimento sin berma, ocasionaron el consumo por fatiga de 394.65% lo cual se traduce en la aparición de fisuras que no se pudieron controlar con la construcción posterior de bermas. El confinamiento actual ni la calidad de la capa granular de apoyo no resultan efectivos para el control de los daños preexistentes en grados de severidad media y alta.

Si bien es cierto el desarrollo de las fisuras ha sido progresivo en poco tiempo (y notable cualitativamente en los tramos de severidad media y alta), esto no ha ocurrido en las de



severidad baja, es decir, se conoce que la falla por fatiga se presentó en los primeros tres años de operación de la vía, no obstante, las fisuras de severidad baja no han tenido la evolución de las otras.

A pesar de que no hubo una adecuada selección del material para construcción de la estructura del pavimento y tampoco un control en el proceso constructivo en la etapa de compactación, el material empleado con el proceso constructivo realizado ofrece valores de CBR mayores a 20% dada la presencia de sobre tamaños, mostrando un comportamiento aceptable en los sectores donde el nivel de daño es de severidad baja, es decir, donde la filtración del agua por falta de confinamiento y tamaño de fisuras no llegó a afectar la disposición final del material que conforma la estructura del pavimento.

El incumplimiento por norma del material de apoyo (sub-base granular), no es condicionante para que la fisura este activa. Se debe considerar que la estructura falló por causa de la falta de confinamiento (fatiga) más no por pérdida de soporte (erosión), una vez se subsanó la falta de confinamiento con la construcción de andenes, el pavimento empezó a trabajar en las condiciones de diseño.

En el retro cálculo de la estructura con las condiciones de mecánica de suelos de la subrasante y la sub-base de apoyo, se tiene que ésta última cuenta con CBR mayor a 20% lo cual, para las solicitaciones proyectadas al término de su periodo de diseño, cumple con los requerimientos de tipo estructural, es decir, la base y estructura son competentes ante las cargas de tránsito.

El principio de comportamiento de los pavimentos se basa en una condición de la base de apoyo en estado drenado, donde cambios en la humedad o algún tipo de gradiente (superior al que permite el drenaje del material de apoyo), permitiría la ocurrencia de bombeo o expulsión de finos, con la consecuente pérdida de soporte y fractura de la placa de pavimento.

En la propuesta de intervención se establece que para las fisuras de severidad baja, que bajo los criterios expuestos no se consideran activas, se realice el sello de las mismas con el fin de evitar que el agua penetre en la base de apoyo ocasionando los problemas anteriormente descritos.



Existen métodos de reparación de grietas en este tipo de pavimentos, como es la costura de éstas con barras de anclaje diagonales y la utilización de epóxicos tanto para anclaje como para sello de grieta. No obstante, se estableció dentro del presente estudio, que dicha intervención no corrige la causa, que para el caso de grietas de severidad media y alta es la pérdida de soporte (por la configuración y evolución de las grietas activas) que en estos sectores ha permitido la filtración de aguas de escorrentía afectando el material de base, el cual, está por fuera de las especificaciones de INVIAS, dejando expuesto al pavimento a un deterioro progresivo, al no tener la suficiente capacidad para soportar las cargas para las que fue diseñado; por lo anterior, ese tipo de intervención se descarta.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASOCRETO – ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DEL CEMENTO. (Medellín 15 de julio de 2011). Taller – *Diseño y construcción de juntas en pavimentos de concreto*. Conferencista Ingeniero Iván Ricardo Sánchez Acevedo.
- ALTAMIRANO Luis. (2007). *DETERIORO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS. Metodología de medición, posibles causas de deterioro y reparaciones*. Universidad Nacional de Ingeniería. 92p. [<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/deterioro-pavimentos-rigidos/deterioro-pavimentos-rigidos.pdf>].
- BOWLES, Jhoseph E. (1981). Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil.
- ICPA- INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO. (2016). *Manual de pavimentos de hormigón*. 162p.
- FLEXOTOP. ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS Y CAUCHO ESPECIAL PARA SELLADO DE PAVIMENTOS. (2013). *Sellado de fisuras y relleno de juntas*. Consejos prácticos 2da edición. 16p.
- INVIAS. (octubre de 2006). *Manual para la inspección visual para pavimentos rígidos*. Bogotá D.C. 65p.
- INVIAS. (octubre de 2006). *Manual para la inspección visual para pavimentos flexibles*. Bogotá D.C. 56p.
- GALÁN GARCÍA, Isabel. (2011). TESIS DOCTORAL. *Carbonatación del hormigón: combinación de CO₂ con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH*. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Químicas. Madrid. 202p.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO – INGEOMINAS 2003. Planchas 447 Ipiales y 447BIS Tallambí con memorias explicativas.
- VÁSQUEZ Luis Ricardo. (Manizales, febrero de 2002). *PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS Y DE CONCRETOS EN CARRETERAS*. Ingeniería de pavimentos – Ingepav. Universidad Nacional de Colombia. 90p.



WEBGRAFÍA

- <http://www.duravia.com.pe/wp-content/uploads/COLECCIONABLE-DURAVIA-V.2.pdf>
- [http://www.ipiales-narino.gov.co/uploads/Plan básico de ordenamiento territorial, municipio de Ipiales.pdf](http://www.ipiales-narino.gov.co/uploads/Plan_básico_de_ordenamiento_territorial_municipio_de_Ipiales.pdf)
- <http://www.ipitimes.com/geologiaygeomorfologiaipiales.pdf>

NORMAS DE REFERENCIA

- American Concrete Institute. ACI 504R-90 - Guía para sello de juntas en estructuras de concreto. 44p.
- American Society for Testing and Materials. ASTM C595 M. Standard Specification for Blended Hydraulic Cements. 8p.
- American Society for Testing and Materials. ASTM C 881. Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete. 6p
- Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2013). Especificaciones técnicas, Capítulo 3 – Afirmados, sub-bases y bases. 150p.
- Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2013). Especificaciones técnicas, Capítulo 4 – Pavimentos asfálticos. Artículo 466 -13 – Sello de grietas en pavimentos asfálticos. 8p.
- Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2013). Especificaciones técnicas, Capítulo 5 – pavimentos de concreto. 122p.
- Norma técnica colombiana. NTC 121. (2014). Especificación de desempeño para cemento hidráulico. 17p.
- Norma técnica colombiana. NTC 321. (2014). Cemento portland – Especificaciones químicas. 7p.
- Norma técnica colombiana. NTC 3459. (2014). Concretos – Agua para la elaboración de concreto. 11p.