

CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DE LA PATOLOGÍA VIAL
DEL CASCO URBANO DE TUNJA

BAIRON FERNANDO SANABRIA GUERRERO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2015

CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DE LA PATOLOGÍA VIAL
DEL CASCO URBANO DE TUNJA

BAIRON FERNANDO SANABRIA GUERRERO

TESIS DE GRADO
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR DE PROYECTO
IC. MSc. MIGUEL ANGEL TOLEDO CASTELLANOS
INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2015

A Dios, Creador de todas las cosas y Ser de armonía y perfección, por quien todos llegamos aquí para cumplir una misión que favorezca a la humanidad. A mi madre, quien siempre creyó en mi talento, y cuyo amor me conforta en cualquier adversidad, a pesar de todos los errores cometidos, es maestra de la vida. A mi familia y amigos, que espero de ellos muchas oportunidades y éxitos, gracias a la ayuda que me han brindado para salir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Miguel Ángel Toledo Castellanos, quien ha participado y ha impulsado este proyecto a través de sus conocimientos como ingeniero, docente y director de tesis en la línea de la geotecnia vial. Muchas gracias por el acompañamiento en este último proceso académico, por todo su criterio trazado y moldeado durante la experiencia en esta área de la ingeniería civil.

A la Secretaría de Planeación Municipal, quienes han aportado la materia prima del desarrollo investigativo, el Plan de Ordenamiento Territorial y la información geográfica de Tunja, pues estos documentos contribuyen no solo en este estudio sino en todo tipo de proyectos dispuestos a consolidarse en el futuro.

A nivel general de la profesión, a los docentes más destacados de la Facultad, que a través de ellos he formado herramientas de conocimiento, usadas en todas las circunstancias ingenieriles y de la vida profesional. En especial, a la ingeniera Elena Listo Úbeda, por su servicial apoyo sin importar ninguna diferencia, y su franqueza en todos los ámbitos de la vida; y al ingeniero Germán Rafael Bermúdez Arenas, como impulsor inicial del proyecto mediante las bases y pautas investigativas transmitidas en su asignatura.

Nota de aceptación

Jurado 1

Jurado 2

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	17
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
1.5 PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DE HIPÓTESIS	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 PAVIMENTOS	20
2.1.1 Definición	20
2.1.2 Reseña histórica	20
2.1.3 Importancia como obra civil	21
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS	21
2.2.1 Pavimentos flexibles	21
2.2.2 Pavimentos rígidos	22
2.2.3 Pavimentos articulados	23
2.3 PATOLOGÍA DE LOS PAVIMENTOS	25
2.3.1 Clasificación de las fallas	25
2.3.2 Daños en los pavimentos flexibles	25
2.3.3 Daños en los pavimentos rígidos	27
2.3.4 Daños en los pavimentos articulados	29
2.3.5 Ciclos patológicos de los pavimentos	30

3. ESTADO DEL ARTE	33
3.1 AUTORES NACIONALES E INTERNACIONALES	33
3.2 AUTORES LOCALES	34
3.2.1 Supervisión de contrato de parcheo y pavimentación de vías, Secretaría de Infraestructura Alcaldía de Duitama.	34
3.2.2 Evaluación y análisis de la estructura del pavimento de la calle 22, Avenidas Colón, Maldonado y Villa Olímpica de la ciudad de Tunja (Boyacá).	35
3.2.3 Inventario y diagnóstico de la red de pavimentos del municipio de Sopó, Cundinamarca.	35
3.3 RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS UTILIZADOS	36
4. METODOLOGÍA	37
4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO	37
4.1.1 Herramientas	38
4.1.2 Paso a paso	38
4.2 MÉTODO DE LA CAPACIDAD DE LOS DAÑOS	39
4.2.1 Definición	39
4.2.2 Formulación del método	40
4.2.6 Coeficiente de daño superficial (S)	48
4.2.7 Cálculo del estado de servicio en tramos combinados	51
4.2.8 Promedio de estados de servicio a nivel de sector y a nivel global	51
5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	52
5.1 DESCRIPCIÓN DEL UNIVERSO	52
5.1.1 Vías de acceso	52
5.1.2 Composición de la malla vial	53
5.1.3 Composición de los sectores del estudio	53
5.2 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	53
6. RESULTADOS	54
6.1 CANTIDAD DE MUESTRA	54
6.2 ESTADO DE SERVICIO	54
6.3 TIPOS Y CANTIDADES DE FALLA	55

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
7.1 ANALISIS GLOBAL	56
7.1.1 Descripción de la calidad del servicio de los tramos	56
7.1.2 Comparativo de estados de servicio, máximos, mínimos y promedios	59
7.1.3 Descripción de los resultados relacionados con los tipos de pavimento	60
7.1.4 Indicadores de gestión de la malla vial	61
7.1.5 Análisis de la hipótesis de investigación	70
7.2 ANÁLISIS POR SECTORES	72
7.3 DISCUSIÓN	79
8. CONCLUSIONES	81
9. RECOMENDACIONES	84
10. RECOMENDACIONES METODOLÓGICAS	85
11. BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXOS	86
ANEXO A: GLOSARIO	88
ANEXO B: FORMULACIÓN DE MÉTODO DE EVALUACIÓN EN OTROS TIPOS DE PAVIMENTO	92
ANEXO C: CRITERIOS DE MUESTREO	99
ANEXO D: CRITERIOS DE INSPECCIÓN VISUAL UTILIZADOS	108
ANEXO E: DESCRIPCIÓN DE SECTORES Y DE LA MUESTRA	118
ANEXO F: BITÁCORA DE CAMPO	129
ANEXO G: RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	131
ANEXO H: MAPAS DE ANÁLISIS GLOBAL	154

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1: Daño encontrado en pavimento flexible	15
Fig. 2: Angostura de vía del centro histórico	16
Fig. 3: Extensión de capa de asfalto	22
Fig. 4: Afinado del concreto para pavimentos	23
Fig. 5: Construcción de pavimento articulado	24
Fig. 6: Ciclo patológico del pavimento flexible	31
Fig. 7: Ciclo patológico del pavimento rígido	31

Fig. 8: Ciclo patológico del pavimento articulado	32
Fig. 9: Esquema de estados de servicio en función de los daños	40
Fig. 10: Grados de curvatura en la parábola de severidad baja	47
Fig. 11: Ordenamiento de los estados de servicio dentro de la muestra	58
Fig. 12: Cantidades de tramos con estado de servicio menor a 70	58
Fig. 13: Comparativo porcentual de áreas de pavimento rígido	59
Fig. 14: Comparativo de estados de servicio entre sectores	59
Fig. 15: E.S. promedios afectados por factores de cobertura	61
Fig. 16: Evolución global de severidades de parches	63
Fig. 17: Tasas de reparacheo por sectores	63
Fig. 18: Evolución de las severidades patológicas por sectores	64
Fig. 19: Tipos de daño más frecuentes en pavimentos flexibles	66
Fig. 20: Tipos de daño más frecuentes en pavimentos rígidos	67
Fig. 21: Tipos de daño más frecuentes en pavimentos articulados	68
Fig. 22: Diagrama de Venn de tipos de daño superficial en pavimento flexible	69
Fig. 23: Dispersión ancho vs estado de servicio según el material	71
Fig. 24: Dispersión general de ancho vs estado de servicio	72
Fig. 25: Capa de "NomenclaturaVial" y asignación de puntos	101
Fig. 26: Fotografía aérea con localizaciones de tramos para guía de campo	103
Fig. 27: Criterios para consideración de trochas en la apariencia de la vía	107

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Extensiones razonables de los tipos de falla en pavimento flexible	42
Tabla 2: Formulación; promedio de extensiones	43
Tabla 3: Formulación; ponderación según severidades	43
Tabla 4: Formulación; capacidades exclusivas	44
Tabla 5: Formulación; capacidades repartidas	44
Tabla 6: Formulación; capacidad promedio de daños	45
Tabla 7: Formulación; ajuste y redondeo de capacidades	46
Tabla 8: Influencia de daño superficial en pavimento flexible	50
Tabla 9: Ponderación de influencias de daño	50
Tabla 10: Valores para daño según la severidad	50
Tabla 11: Composición de la red vial de Tunja por categorías	53
Tabla 12. Estados de servicio promedio	55
Tabla 13. Sumatoria general de casos patológicos	55
Tabla 14. Descripción de rangos de estados de servicio	56
Tabla 15. Medidas de tendencia central de la muestra	57
Tabla 16. Porcentajes de área de tipos de pavimento	60
Tabla 17. Tasa global de reparacheo	62
Tabla 18. Conteo de daño superficial en el pavimento flexible	69
Tabla 19. Conteo de daño superficial en el pavimento rígido	70

Tabla 20: Reparaciones de tramos según su rango	84
Tabla 21: Extensiones razonables de tipos de falla en pavimentos rígidos	93
Tabla 22: Capacidades estándar de daños	93
Tabla 23: Influencia de daño superficial	94
Tabla 24: Ponderación de influencias	94
Tabla 25: Extensiones razonables de tipos de falla en pavimento articulado	95
Tabla 26: Capacidades estándar de daños	96
Tabla 27: Influencia de daño superficial en pavimento articulado	96
Tabla 28: Influencias por clase de daños superficiales	97
Tabla 29: Ponderación de influencias	97
Tabla 30: Capacidades estándar de daños para pavimento mixto	98
Tabla 31: Descripción de los sectores de estudio	119
Tabla 32: Localización de los tramos evaluados	123
Tabla 33: Cronología de inspecciones de campo a los tramos	130
Tabla 34: Formato final de registro de datos de pavimentos flexibles y mixtos	132
Tabla 35: Sumatoria global de casos patológicos	147
Tabla 36: Estados de servicio por sector y material	148
Tabla 37: Sumatoria de tipos de daño en pavimento flexible	148
Tabla 38: Sumatoria de tipos de daño en pavimento rígido	149
Tabla 39: Sumatoria general de áreas de pavimento	149
Tabla 40: Tipos de falla más comunes por sector	150

ÍNDICE DE MAPAS

	Pág.
Mapa 1: División de los sectores de estudio	153
Mapa 2: Estados medios de servicio	154
Mapa 3: Estados mínimos de servicio	155
Mapa 4: Porcentajes de pavimento rígido	156
Mapa 5: Factores de cobertura	157
Mapa 6: Tasas de reparcho	158
Mapa 7: Tasas de casos de severidad alta	159
Mapa 8: Tipos de falla más frecuentes en pavimento flexible	160
Mapa 9: Tipos de falla más frecuentes en pavimento rígido	161

RESUMEN

La malla vial de Tunja, desde siempre ha tenido problemas de funcionamiento en términos de movilidad, como muchas otras redes urbanas de infraestructura. El propósito de esta investigación es presentar un diagnóstico a nivel general, del estado actual de daños de la red vial.

Los daños superficiales y estructurales desempeñan un papel muy importante en la afectación del servicio de las vías, y usualmente se han hecho estudios sistemáticos de patología. Sin embargo, estos estudios son dispendiosos consecuencia de las metodologías aplicadas. Es por ello que se propone también una metodología de evaluación de daños, de forma que se evalúe más rápidamente un tramo de vía, y así poder albergar más muestra de estudio. Es un método que tiene en cuenta pautas de otros autores, y planteado desde cero en este contenido.

Después de haber sido aplicado el método de evaluación en más de 20 km de vías en 17 sectores urbanos, el estudio mostró altas tasas de deterioro, sobre todo en los pavimentos rígidos, siendo estos utilizados frecuentemente en vías terciarias. Generalmente la malla vial con su puntaje promedio, alcanzó un estado aceptable para los usuarios, y un 10% de la muestra tiene defectos que los clasifican como de mal estado. Entre los tipos de daño más comunes están las fisuras en bloque, descascaramiento del asfalto, crecimiento vegetal y numerosos parches que no son suficientes para satisfacer la demanda de los daños moderados y evolucionados.

Como influye bastante el factor de la gestión de obras públicas en estos resultados, la recomendación final es identificar mejor los sectores más afectados y hacer una mayor inversión no solo en vías principales, también en el pequeño porcentaje de la malla vial que requiere reparaciones cuanto antes.

Palabras clave: Malla vial, Patología estructural, Inspección visual de pavimentos, Gestión de obras públicas.

ABSTRACT

Regarding to mobility, the road network in Tunja, never worked properly, like many other infrastructure systems. The goal of this research is to introduce a diagnosis in a general way, about the current detriment in the roads. These damages in the surface, and also in the structure, affect hard to the service offered by the roads. Usually, many researches have been made but they are difficult because of the methodologies applied. That is why this research proposes a method of evaluation of damages, since a length of road can be analyzed in a short term of time. This project regards to projects from other authors, and the method is explained completely.

After being applied the method in more than 20 km of roads in 17 urban areas, the results were high rates of damage in rigid pavements, used for tertiary roads. Generally, the road network worked acceptable for the most of users. Only a 10 percent classifies in a bad condition. Among the type of damages most common are block cracks, peeling of the asphalt, plant growth and numerous patches that are insufficient to solve the demand of evolving damage.

The arrangement of the public constructions in these results is a big influence, and the final recommendation is to identify in a better way the most affected sectors and to do a highest investment not only in the main roads, but also in the little percentage of the road network that requires repairs as soon.

Key words: Road network, structural pathology, visual inspection of pavements, public works administration.

INTRODUCCIÓN

Todas las obras civiles poseen una ciencia específica, que se ha desarrollado históricamente a través de descubrimientos, experimentos e investigación, y obviamente a partir de la práctica en la construcción, en donde se puede apreciar directamente la calidad de los materiales y del trabajo realizado. Sin embargo, uno de los propósitos de las obras civiles actualmente, es el buen desempeño a lo largo de su vida útil; tal es el caso de las vías públicas, utilizadas por todo tipo de personas, para economizar el tiempo de transporte, no solo de ellas sino de cargas pesadas de todo tipo, que es necesario transportarlas como una de las actividades principales del comercio y de la industria.

Las vías son pavimentadas con materiales escogidos y dosificados de tal manera que respondan a las condiciones de las cargas por vehículos, y a las condiciones del medio ambiente, pero son susceptibles a las rupturas y a las deformaciones si son mal utilizadas, mal diseñadas o mal construidas. Esto causa dificultades para los conductores en cuanto a maniobrar sus medios de transporte si desean conservar el ritmo en el que se desplazan; en otras palabras, las vías comienzan a perder sus cualidades iniciales de servicio. Una de las problemáticas que acompañan esta idea está en la gestión, como falta de presupuesto y/o descuido de la infraestructura, que reverberan en muchos corredores viales importantes no solo para la gran economía de las ciudades y regiones, sino además para la ciudadanía en general.

El presente trabajo busca identificar y clasificar los diferentes deterioros de las vías en la ciudad de Tunja, como uno de los muchos ejemplos en los que a través de la malla vial se aprecia la desigualdad social y económica entre sectores de altos y bajos recursos, que generan otros problemas como la accidentalidad, inseguridad e inclusive mayor impacto ambiental. Para ello se cuenta con recursos normativos y técnicos desarrollados por diversos autores, que han propuesto criterios y teorías válidas, como base para plantear una metodología de estudio de las condiciones de servicio de los tramos, que es fundamentada paso a paso en el capítulo correspondiente.

Esta nueva metodología desarrollada por el autor, se aplicó para una muestra aleatoria de tramos, distribuidos a lo largo y ancho de la red vial urbana, pero divididos por sectores para efectos de diferenciar los resultados en estas zonas delimitadas, teniendo en cuenta las actividades socioeconómicas, los estratos, y las vías principales y arteriales como parteaguas de la malla vial. Sin embargo, esto se complementa con el anexo de criterios de muestreo en donde se establecieron los puntos considerados para garantizar un muestreo libre de variables contaminantes en el análisis global y por sectores. Todos estos tramos fueron inspeccionados para la recolección de los datos.

La segunda parte del contenido, se compone de los resultados, el análisis global y por sectores, la discusión, conclusiones y recomendaciones. Los resultados resumen lo relacionado con las sumatorias de los daños registrados, y el cálculo de los estados de servicio para cada tramo de vía; son analizados en una panorámica global en donde se describen los rangos de calificación de estos valores, y la cantidad de tramos en cada uno.

Lo que es referente a los sectores, son los análisis comparativos no solamente de los estados de servicio, sino también de otros indicadores, como la tasa de reparcho, que describe la cuantía de reparaciones hecha en cada sector; el factor de cobertura, que muestra los sectores con más áreas sin pavimentar; la evolución de las severidades de los daños, que expone los procesos de daños, unos más avanzados que otros en cuanto a estas zonas; entre otros indicadores en términos cualitativos y cuantitativos.

Este capítulo incluye además los resultados e interpretaciones para la hipótesis central del estudio, la influencia del ancho de la vía en el desempeño de los tramos, medido directamente en el estado de servicio; esta interpretación es tomada como un indicador más de la explicación en torno a la desigualdad existente de los sectores de la ciudad.

El análisis termina con los tipos de daños más frecuentes en cada sector, que permiten describir el estado de cada uno, asociado a sus actividades socioeconómicas, su ubicación y su rol dentro de la ciudad. Todos estos puntos tratados son contrastados en una discusión en la que se reconocen las limitaciones que tiene el estudio como posibles cartas que varían los resultados y deducciones en juego. Se procede a concluir de los puntos más relevantes del análisis, a dejar recomendaciones relacionadas con el mantenimiento de la infraestructura, y otras recomendaciones para mejorar la metodología.

Los anexos incluyen las fechas de visita de los tramos, los criterios definitivos de inspección visual de daños basados en otros documentos, la descripción de la muestra, los resúmenes de recopilación y procesamiento de datos; y finalmente los mapas de análisis global de acuerdo a los indicadores de análisis.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La patología vial se relaciona con las fallas presentadas en una vía, de acuerdo con lo establecido en el manual del INVIAS de tipos de fallas, entre otras elaboraciones técnicas, entre las cuales sobresalen las fallas por fisura, deformación, pérdida de capas, daño superficial, entre otros.

Fig. 1: Daño encontrado en pavimento flexible



Fuente: INVIAS

Las fallas se deben a muchos factores intervinientes, como la calidad del diseño, el mal uso que se les ha dado a las vías al ser utilizadas por un tráfico más pesado y el periodo de cambio entre los índices de serviciabilidad de la AASHTO, que son los que indican cuantitativamente el estado de una vía, en un rango de 4 a 2, donde 4 es el estado con mejor desempeño y 2 es el estado crítico, y que con el paso del tiempo de servicio, el índice disminuye (Higuera, 2010). Un tráfico que pese dos veces más que otro, por ejemplo un camión C2 comparado con un automóvil, genera mucho más del doble de impacto que en el caso del tráfico normal.

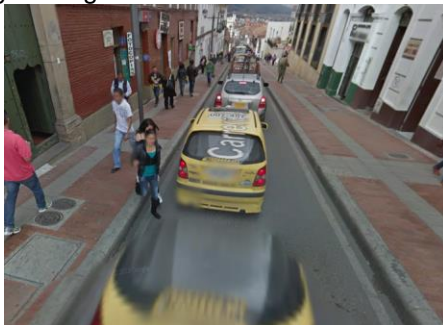
La ciudad de Tunja cuenta con una red vial de 219 km (POT de Tunja, 2001) donde hay muchos casos concretos de daños en infraestructura. Circunstancias como los eventos religiosos, deportivos, históricos y culturales de la ciudad llevados a cabo en la Plaza de Bolívar, hacen que el tráfico sea desviado a rutas alternas como la carrera 8, una calle en alguna época bastante deteriorada, que ha sido reparada en muchos tramos, ya que se ha aumentado el número de ejes equivalentes y las repeticiones de carga en dicha vía.

Existen otras circunstancias, esta vez de orden público, pero menos frecuentes como los disturbios de la UPTC (su frecuencia es aproximadamente 4 veces al año), en donde se observa que la circulación de vehículos se desvía por rutas alternas. A pesar de las medidas tomadas para la reducción del tráfico y de los trancones en el sector centro, como el Viaducto Juan Nepomuceno Niño, el pico y placa en el centro histórico y el cambio de las rutas y sentidos de flujo en el centro

histórico, aún persisten los problemas de movilidad en la ciudad, aunque son menos frecuentes.

Otro factor influyente es el ancho de las vías, pues Tunja cuenta con muchas calles angostas como en la figura 2, localizadas en el centro histórico, del orden de 3,5 m de ancho, por lo que solo existe flujo de un solo carril. Las vías del centro histórico fueron anteriormente diseñadas para tránsito por dos carriles, al reducir a un solo carril se duplica el tránsito, pues en el proceso constructivo no se reconstruyeron las capas granulares sino que se recortaron los costados de las vías y se dejó el pavimento existente, esto implica un incremento de las cargas repetitivas por carril, reduciendo la vida útil de los tramos a través de los daños, y dificultando finalmente el servicio que se prestan, lo cual causa problemas de movilidad.

Fig. 2: Angostura de vía del centro histórico



Fuente: Google Maps

Otra causa del deterioro de las vías se presenta en los sectores aislados y suburbanos, donde hay presencia de baches, en los cuales los agregados gruesos de capas granulares son arrastrados por las ruedas de los vehículos hacia las partes no deterioradas. Otros agregados en las calles son los agregados de construcción de obras de vivienda, tanto gruesos como finos. Una carga por eje normalmente se distribuye sobre el área de contacto de los neumáticos, pero al recargarse sobre una piedra, la carga se concentra en la piedra y se transmite en esa pequeña área de la piedra en contacto con el pavimento, ocasionando una sobrecarga. Estas sobrecargas con el paso del tiempo perforan la capa de rodadura y provocan fallas, por lo cual se indica que al estar presente un bache en una vía, lo más probable es que después de un tiempo haya muchos más daños que causalmente se relacionan con éste. Los agregados sueltos también desgastan la superficie, debido a la fricción entre los neumáticos, el agregado y la superficie de la vía.

Los eventos relacionados con el incremento de cargas ocasionan fallas con el paso del tiempo, y éstas traen consigo consecuencias como la reducción de la velocidad de marcha de los vehículos (de 40 a 10 km/h) y por lo cual la generación de embotellamientos en el cuadrante central de la ciudad, y mayor emisión de gases contaminantes (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos no quemados). También ocasionan daños paulatinos a las partes mecánicas y

estructurales de los vehículos livianos, relacionados con la suspensión, el chasis, entre otros componentes; además de un desgaste más rápido de las llantas al transitar por vías altamente desgastadas en su superficie. Por otra parte, hay motocicletas que corren el riesgo de accidentarse en las vías con altas pendientes, a pesar de la poca cantidad de motocicletas registradas en Tunja, de aproximadamente 5000 para el 2012 (Escuela de transporte y vías UPTC, 2012).

Los daños excesivos en las vías, de tal forma que dejaran de prestar un buen servicio, ocasionan que los flujos que originalmente fueron por dichas vías, se desvíen hacia rutas alternas. Las vías no frecuentadas por los vehículos, por daños excesivos generarán impactos socioeconómicos a largo plazo en sus cuadras aferentes, ya que se reduce el flujo de taxis en dichas vías, obligando a los peatones a caminar más distancias, y en algunas otras vías el tráfico reduce su velocidad de marcha afectando el desempeño laboral de algunas personas, reflejado en retrasos en el compromiso laboral, los cuales inducen a estas personas a madrugar más y/o a utilizar medios de transporte más costosos.

En términos secundarios la problemática provoca inconformidades debidas al mal aspecto físico de las vías por parte de los ciudadanos, turistas, y sobre todo, los conductores de servicio público cuyo oficio es el sustento para su calidad de vida.

1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

-¿Cuáles son los factores que influyen en la variación y dispersión de los daños en las vías a nivel global y de sectores en el casco urbano de Tunja, y de qué manera intervienen en la problemática de los daños?

-¿Es posible desarrollar un método capaz de diagnosticar de manera rápida y eficiente la cantidad y severidad de daños, y por ende el estado de servicio de las vías, a nivel global, en donde se pueda tomar una muestra lo bastante representativa para lograr analizar los factores anteriormente cuestionados?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Muchas de las vías fallan debido al mal diseño de la capa asfáltica o de las capas granulares, otras por condiciones climáticas y del suelo, y otras por carga vehicular excesiva. Se propuso clasificar los tipos de fallas de los pavimentos flexibles, rígidos y articulados, en cuanto a su aspecto físico y a su forma de falla, y determinar cómo se distribuyen geográfica y porcentualmente, porque hay que evitar incurrir en el error de generalizar los casos patológicos de las vías aplicando una sola forma de mantenimiento para todos, que para algunos casos resulta ser una sobreinversión, y para otros termina siendo una reparación insuficiente.

Esto se hace con el fin de buscar alternativas de solución para el mantenimiento y la conservación de las vías en mal estado, mediante procedimientos eficientes, que

dependen del presupuesto disponible, el tiempo de operación y la calidad de los materiales, beneficiando a los sectores del transporte como los principales afectados, en materia de movilidad, de daños a su infraestructura y por ende en materia económica.

Puede también beneficiar a la administración municipal en cuanto al ahorro de los recursos destinados a estudios patológicos y de diseño, pues el fruto de ésta investigación será el compendio de la caracterización de las patologías viales a través de un informe que en cuestiones de conocimiento será una referencia clave en el estudio y diseño, no solo de reparación de las vías, sino de la construcción de nuevas vías proyectadas para el futuro. El estado del arte requiere de una referenciación de autores cuyas investigaciones se enfocan en el sector de la infraestructura vial del país, pues por el momento existe información acerca de cómo clasificar fallas en carreteras en otros países, mediante métodos rápidos y precisos, pero que hasta ahora están comenzando a enfocarse en describir la patología en algunas ciudades.

Se considera este proyecto bastante importante para el área de la gestión vial, pues es un proyecto en el que se adquieren, desarrollan y generan nuevos conocimientos, siendo indispensable para ser aplicada en la práctica en ciudades como esta, porque es una ciudad en la que hay mucha cuantía de daños a las vías, ya que se diseñan de una manera muy rudimentaria y dejan de lado muchos factores relevantes, pues si hay diseños insatisfactorios, obviamente se presentan operaciones de mantenimiento que también son insatisfactorias. Es un área que se debe profundizar, tanto que debería incluirse dentro del pensum de ingeniería civil, como una electiva denominada Patología Vial.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general:

Identificar los daños ocasionados más relevantes en las vías urbanas de Tunja mediante inspección y calificación.

1.4.2 Objetivos específicos:

-Identificar las zonas de la ciudad con más daños como un factor de análisis de la patología, de acuerdo al inventario de defectos viales registrados en campo.

-Desarrollar y aplicar un método que permita calcular el estado de servicio de un tramo de vía como dato fundamental en el análisis y estudio patológico.

-Describir mediante indicadores cualitativos y cuantitativos la calidad de la gestión y del servicio que presta la malla vial, a través de análisis de datos recopilados.

-Proponer alternativas de solución según el desempeño de las vías en los diferentes sectores y los tipos de falla más comunes.

1.5 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

A raíz de uno de los puntos expuestos de la descripción del problema de investigación, relacionado con la reducción del ancho de la calzada como factor de la reducción en la vida útil de la vía, se plantea una hipótesis basada en el incremento de las repeticiones de carga por un menor ancho, pero a la vez basada en el método de la capacidad de daños desarrollado más adelante, ya que el método sugiere en resumidas cuentas que un tramo de vía cuanto más ancho, posee más espacio para albergar daños. La hipótesis se sintetiza en la siguiente afirmación inicial por parte del Autor:

El estado de servicio (parámetro de evaluación) es directamente proporcional al ancho del tramo, de tal forma que éste estado de servicio dependa bastante de ésta variable, la cual afecta directamente la vida útil del servicio del tramo, pues tiene solamente un carril para abarcar la demanda del tránsito que pueda utilizar este tramo; este ancho más bajo define un área mucho menor, luego define una menor capacidad de daño manifestado en las mismas extensiones sin importar las dimensiones del tramo

Otro argumento que sostiene esta hipótesis es que los tramos de anchos inferiores a los 4 m generalmente se encuentran en categorías terciarias, encontradas en mallas viales internas de barrios y localidades, que precisamente son vías de menor importancia que las vías primarias, secundarias y arteriales, e implica que en términos de gestión, estas vías tengan menores tasas de reparaciones y mantenimiento, lo que no permite ciertos aumentos en el estado de servicio a lo largo de la vida útil.

La comprobación de la hipótesis está incluida en el análisis global, hecha directamente sobre las variables en juego, el estado de servicio neto y el ancho del tramo o porción de tramo combinado al que le corresponde este estado de servicio, a través de una nube de puntos graficada de todos los datos de la muestra; una nube de puntos global, que muestre la tendencia global de la variación del estado de servicio, y una nube agrupada en colores por material de pavimento, en la que se observen las tendencias según el material.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PAVIMENTOS

2.1.1 Definición

Los pavimentos están constituidos por un conjunto de capas superpuestas, que son diseñadas y construidas técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Esta estratificación de estructuras se apoya sobre el suelo denominado subrasante, obtenido por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que deben resistir adecuadamente los esfuerzos transmitidos por las cargas repetidas del tránsito, durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento (Montejo, 2002).

2.1.2 Reseña histórica

Muchas fueron las causas del establecimiento de caminos o rutas que comunicaban ciudades, pueblos y veredas, como son la guerra, el comercio, la religión y la migración de la población. Estos caminos requerían de invenciones y técnicas para ser durables, entonces, surgieron los pavimentos. Los pavimentos más antiguos fueron encontrados en Asia, pero los pavimentos más durables y mejor construidos, en materiales de piedra y argamasa, datan del 322 a.C. correspondientes al Imperio Romano, considerado el pionero de la construcción de carreteras.

En el nuevo continente han surgido caminos en piedra elaborados en las civilizaciones Maya, Azteca e Inca, encontrados más adelante por los españoles en su época colonizadora. Sin embargo, lo que se conoce hoy en día como pavimentos comenzó a surgir en Europa a mediados del siglo XIX, con mentes investigativas como Macadam, Tresaguet y Telford, quienes desarrollaron superficies de rodadura cada vez más económicas y versátiles. Con la aparición de los automóviles, se han desarrollado muchas investigaciones y avances para óptimos diseños, en pistas de prueba, y hoy en día subsisten los métodos de diseño como la Shell y la AASHTO como los más empleados.

En Colombia, a finales del siglo XIX se llevó a cabo la primera pavimentación, en Bogotá en su centro histórico, después de la construcción de la primera vía entre Bogotá y Santa Rosa de Viterbo durante el gobierno de Rafael Reyes. La infraestructura vial antes de los 50 creció y abarcó gran parte de los caminos del altiplano cundiboyacense, y después comenzó a desarrollarse en vías importantes para el desarrollo comercial como la Línea, la vía a la costa, la Panamericana, y otras vías que comunican a las principales ciudades del país. Para estos días el

organismo encargado de estos proyectos es el Instituto Nacional de Vías INVIAS, que reglamenta los criterios de construcción de vías a nivel nacional.

2.1.3 Importancia como obra civil

Además de las edificaciones, las vías son consideradas obras civiles de gran abundancia en cualquier parte del mundo, y son obras que contribuyen a muchos beneficios socioeconómicos a nivel local, regional y nacional, pues gracias a las vías pavimentadas se reduce el tiempo de recorrido, se genera una buena estética, y atraen mucha población en cuanto al turismo. Son obras civiles que satisfacen las necesidades de mucha gente, y es por eso que se invierten muchos recursos en la construcción, cuidado y mantenimiento de éstas, por lo cual es conveniente hacer investigaciones en las ramas de la ingeniería de pavimentos, como el diseño, la dosificación de materiales, el diseño de capas, la calidad de materiales, la gestión infraestructural y las dimensiones del tráfico que circula por estas, con la idea de profundizar en este tipo de obras bastante comunes.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

2.2.1 Pavimentos flexibles

2.2.1.1 Materiales

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra (Montejo, 2002).

- **Subbase Granular**

La subbase se compone de materiales granulares obtenidos de la mezcla de suelos de cantera (gruesos), suelos arenosos y suelos cohesivos (arcillas), que deben tener una proporción granulométrica ideal, reglamentada por el INVIAS, y unos límites de consistencia del suelo también establecidos, para que esté en condiciones de trabajo y servicio sin presentar fallas, asentamientos, lavado de partículas ni expandirse. La función de la subbase es económica, de transición entre las capas estructurales y la subrasante, de absorción de los impactos para reducir las deformaciones del suelo, y de drenaje del agua infiltrada del pavimento.

- **Base Granular**

Se compone de materiales granulares, arenosos, limosos y finos que granulométricamente cumplen con las especificaciones de norma para base granular, para que pueda desempeñarse en su función de absorber parte de las cargas vehiculares, y otra parte poder ser transmitida a la subbase granular.

- **Carpeta asfáltica**

Está elaborada con asfalto mezclado con materiales finos, arenosos y gruesos seleccionados, de tal forma que se comporte con una alta resistencia a la tracción, a la compresión y al esfuerzo cortante en contacto con los vehículos. El asfalto convierte al material en impermeable para evitar que el agua penetre las capas inferiores, y por último debe proporcionar una superficie lisa pero lo suficientemente adherente para el paso de los vehículos a alta velocidad.

2.2.1.2 Proceso constructivo

Fig. 3: Extensión de capa de asfalto



Fuente: santotomealdia.com.ar

Se comienza con una explanación para dejar la subrasante a los niveles deseados, hecha con maquinaria (excavadora, motoniveladora y compactadora), luego se extiende la capa subbase a una humedad reglamentaria y se compacta. Después se extiende la base granular con su humedad óptima; entonces se aplica la lechada asfáltica para extender luego la capa de rodadura ya sea a mano o con una pavimentadora (Finisher). El acabado se lleva a cabo con compactadores de tambor o de neumáticos. Según el tipo de vía se construyen las respectivas obras hidráulicas para drenar las aguas y asegurar la durabilidad de las carreteras.

2.2.2 Pavimentos rígidos

2.2.2.1 Materiales

Este tipo de pavimentos se compone de 2 capas estructurales, una subbase granular de soporte y una losa maciza de concreto hidráulico sobre la subbase.

- **Concreto hidráulico**

El acabado de estos pavimentos es de concreto hidráulico simple o reforzado, de carácter impermeable, que posee una capacidad de carga lo suficientemente alta para absorber y transmitir las cargas vehiculares al suelo.

- **Subbase Granular**

La subbase se compone de materiales de diversos diámetros, distribuidos según la granulometría estipulada por norma, elaborada al igual que en los pavimentos flexibles. En los pavimentos rígidos su función primordial es el impedimento de la acción del bombeo sobre las juntas, que es la infiltración del agua en las juntas y el lavado de las partículas del suelo bajo el pavimento.

2.2.2.2 Proceso constructivo

Se comienza con una explanación para dejar la subrasante a los niveles deseados, hecha con maquinaria (excavadora, motoniveladora y compactadora), luego se extiende la subbase a una humedad reglamentaria, y se compacta. Se colocan las juntas de las losas de concreto, pueden ser en madera u otros confinamientos; Después se coloca el refuerzo en mallas electrosoldadas (para losas reforzadas) y se funden una a una las losas en ajedrez (el orden de fundidas). La malla electrosoldada ejerce resistencia tanto a flexión como a retracción por el fraguado.

Fig. 4: Afinado del concreto para pavimentos



Fuente: bacilos81.blogspot.com

2.2.3 Pavimentos articulados

2.2.3.1 Materiales

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí (Montejo, 2002). Los adoquines se adosan sobre una capa delgada de arena que la separa de la base granular o de la subrasante (dependiendo de la calidad del suelo y de la magnitud de las cargas de tránsito).

- **Base granular**

Se compone de materiales granulares, arenosos, limosos y finos que granulométricamente cumplen con las especificaciones de norma para base

granular, para que pueda desempeñarse en su función de absorber parte de las cargas vehiculares, y otra parte poder ser transmitida a la subrasante.

- **Capa de arena**

Capa delgada de arena colocada sobre la base, para servir de asiento a los adoquines y como filtro para la entrada del agua en las juntas.

- **Adoquines**

Generalmente son bloques prefabricados de concreto, pero en ocasiones se utilizan ladrillos recocidos como adoquines. Estos están diseñados para el soporte de las cargas y asimismo el desgaste generado por el paso de los vehículos.

- **Sello de arena**

Arena fina que es colocada en las juntas como llenante, de tal forma que el pavimento se comporte uniformemente; y como sello, reduce el desgaste y los daños por humedad.

2.2.3.2 Proceso constructivo

Se comienza con una explanación para dejar la subrasante a los niveles deseados, luego se extiende la capa de base a una humedad óptima y se compacta. La capa de arena se extiende y a medida que se va extendiendo se van colocando los adoquines de tal forma que no queden espacios vacíos, y a la vez se adiciona la arena sellante de los adoquines, para que haya una “traba” entre los adoquines y no haya puntos débiles en el pavimento.

Fig. 5: Construcción de pavimento articulado



Fuente: www.elsantafesino.com

2.3 PATOLOGÍA DE LOS PAVIMENTOS

La patología de pavimentos es la ciencia dedicada al estudio sistemático y ordenado de fallas que se presentan en las vías y pavimentos, analizando el origen y/o las causas y consecuencias, para formular procesos y generar medidas correctivas, de tal manera que se puedan recuperar las condiciones de desempeño y estética de las vías.

2.3.1 Clasificación de las fallas

A nivel general, todos los pavimentos sufren daños con el paso del tiempo, dentro del cual intervienen factores de servicio, de proceso constructivo y factores ambientales, pero los daños son presentados tanto en la superficie como en la estructura de las capas internas del pavimento (Montejo, 2002)

2.3.1.1 Fallas estructurales

Son los defectos de la superficie del pavimento, causados por problemas en la estructura del pavimento, en otras palabras, comenzando por las fallas no detectadas a simple vista en las capas inferiores. Tienen dos causas principales:

-Exceso de carga que supera la capacidad de carga de la estructura, que por ende genera deformaciones no recuperables, que al acumularse causan los colapsos en alguna de las capas.

-No hay excesos de carga, pero al incrementarse las deformaciones recuperables el material dejará de comportarse elásticamente y ocasionará la fatiga del mismo al perder sus características mecánicas. En estos casos, el punto más vulnerable es la parte inferior de la capa de asfalto que suele fisurarse por las deformaciones horizontales por flexo tracción.

2.3.1.2 Fallas de superficie

Son las fallas que solo se generan en la capa de rodadura, que no están vinculadas con las otras capas del pavimento, que de igual forma tienen las mismas causas de las fallas estructurales.

2.3.2 Daños en los pavimentos flexibles (INVIAS, 2006)

2.3.2.1 Grietas o fisuras

Las fisuras y las grietas están en un mismo grupo, que son rupturas lineales detectadas a simple vista en la superficie de la vía, y tienen diferentes formas (longitudinales, transversales, en medialuna, en piel de cocodrilo, en bloque, entre otras). Estas formas de grietas y fisuras dependen de sus causas particulares, que

por lo general son de exceso de carga, fenómenos geotécnicos, defectos constructivos y defectos de dosificación de materiales. Pueden variar en longitudes, ya que se miden por metro lineal, desde longitudes muy pequeñas hasta grietas que atraviesen toda la vía.

2.3.2.2 Deformaciones

Irregularidades de forma de la superficie del pavimento, sin llegar a presentarse fisuras. Tienen esta subdivisión:

- Ondulaciones
- Ahuellamiento
- Abultamiento
- Hundimiento
- Asentamiento

Hay deformaciones más fáciles de detectar que otras. Para determinar con exactitud sus magnitudes se utiliza la viga Benkelman, una pieza horizontal desde donde se miden los desplazamientos de la superficie. Se presentan más que todo en zonas de alta temperatura, donde el asfalto es más susceptible a deformarse, y en vías donde la subrasante tiende a ser expansiva, generando expansiones y contracciones que deforman el pavimento.

2.3.2.3 Daños superficiales y pérdida de capas

Son aquellos daños en los que hay pérdidas tanto del asfalto como de los agregados, a nivel de superficie o por trozos de capa, que son subdivididos así:

- Descascaramiento
- Pérdida de agregado
- Desgaste superficial
- Pulimiento del agregado
- Cabezas duras

Sus causas principales se atribuyen a la baja calidad de la mezcla asfáltica, con defectos como exceso o defecto de finos, exceso o defecto de gruesos, gruesos de diferentes durezas, gruesos de baja rugosidad, redondeados o muy grandes, y errores constructivos desde la preparación del asfalto hasta su extendido y compactación.

2.3.2.4 Daño estructural

Es el daño interno de las capas granulares, en el que suele intervenir el agua que se infiltra en grietas o en baches. Si una vía presenta daños estructurales, es porque posee casos patológicos como los siguientes:

- Baches
- Afloramientos de finos o lodos desde grietas
- Grietas en piel de cocodrilo y en bloque de severidad alta.

2.3.3 Daños en los pavimentos rígidos

2.3.3.1 Fisuras

Las grietas de ancho menor a 0,03 mm se denominan fisuras (INVIAS, 2006), y son las primeras manifestaciones patológicas de las losas de pavimento rígido, que conllevan más adelante a las fracturas más conocidas como grietas, como la evolución de las fisuras a causa de las cargas de tránsito, peso propio de la losa y esfuerzos del suelo. Estas fisuras se clasifican de acuerdo a sus causas principales (Becker, 2009), de esta manera:

- Fisuras por congelamiento temprano
- Por movimientos constructivos
- Plásticas
- Físicas
- Químicas
- Térmicas
- Estructurales

Gran parte de estas fisuras se relacionan con una parte del proceso constructivo del concreto, que es determinante en su durabilidad, que es el fraguado. El fraguado es la transición del concreto fresco al concreto en condiciones rígidas, en donde el concreto apenas rígido no tiene desarrollada su resistencia a la flexión y a la compresión y es muy susceptible a los asentamientos por su peso propio y a la retracción, provocando fisuras en las zonas medias y otras fisuras. La formación de fisuras también depende de la relación agua-cemento de la mezcla. La relación agua-cemento va de la mano con la operación de curado del concreto, que es la aplicación del agua durante un tiempo establecido, necesaria para la hidratación del concreto, que favorece la reacción química de sus componentes que hace posible su alta resistencia.

2.3.3.2 Grietas

Las grietas son las discontinuidades del material, donde la losa es prácticamente dividida en dos o más partes, como consecuencia posterior de fisuras, excesos de carga y asentamientos. Se dividen según su orientación y localización:

- Grietas de esquina
- Grietas longitudinales
- Grietas transversales
- Grietas en los extremos cercanos a las juntas

-Grietas en bloque

En la formación de las grietas interviene una amplia gama de factores, desde el proceso constructivo hasta el servicio. Las microfisuras que se han formado en el proceso de fraguado, definen las líneas de falla por donde más adelante habrá una grieta, y estas fisuras dependerán además de la influencia de la forma de las losas, ya que por simple lógica una losa más larga que ancha presentará grietas transversales, y una losa ancha tendrá grietas en el otro sentido. Las grietas en bloque son la evolución final de los daños, a partir de las primeras grietas formadas.

2.3.3.3 Daños en juntas

Son todos los daños relacionados con las juntas o líneas de unión entre las losas. Se dividen de este modo:

- Separación de las juntas longitudinales
- Separación de las juntas transversales
- Deterioro del sello
- Juntas desportilladas
- Vegetación

Los daños presentados en las juntas son causados por factores, más que todo vinculados con el sello. Una buena construcción de los sellos garantiza una mayor duración, y por norma los sellos tienen que elaborarse con materiales sintéticos (polímeros, siliconas) para sellados en caliente o sellos premoldeados. Sin embargo, muchos de los sellos son hechos con tiras de madera e incluso en mampostería, lo cual reduce la durabilidad de las juntas, aumentando los daños consecuentes como el bombeo, las grietas de esquina y la vegetación.

2.3.3.4 Daños superficiales

Son los daños evidenciados a simple vista en la superficie de la losa sin efectos en la parte estructural. Se presentan como descascaramiento, desintegración, pulimento y desgaste de la superficie. Al ser daños superficiales estarán influidos solo por la calidad de la mezcla del concreto, derivada de la dosificación y el curado del concreto.

2.3.3.5 Daños estructurales

Son las manifestaciones posteriores a las fallas superficiales, en las que intervienen la alteración de las capas por presencia de agua infiltrada, y altas severidades de los daños anteriormente mencionados. El daño estructural tiene estos “síntomas” representados en estos casos patológicos:

- Escalonamientos de juntas longitudinales y transversales

- Levantamientos de fragmentos de losa
- Hundimiento o asentamiento
- Desplazamiento de juntas
- Bombeo
- Baches

2.3.4 Daños en los pavimentos articulados (Higuera & Pacheco, 2009)

Los pavimentos articulados al ser hechos de elementos más pequeños, y de constar de una estructura más simple, tienen menor variedad de casos patológicos, que son los siguientes:

2.3.4.1 Fracturamiento de los adoquines

Son las grietas, fisuras y desportillamientos encontrados en los adoquines, debidos a los esfuerzos repetitivos causados por las cargas, que fatigan los adoquines.

2.3.4.2 Vegetación

Es quizá el problema patológico más común en estos pavimentos, como consecuencia final de la infiltración del agua en las juntas después de deteriorarse con el tiempo.

2.3.4.3 Grietas y fisuras en los confinamientos

Una de las claves del buen funcionamiento de los pavimentos articulados se encuentra en el confinamiento de los adoquines, hecho de concreto, que generalmente falla por flexo-compresión, incidida por la geometría de los confinamientos, que son losas con dimensiones de vigas.

2.3.4.5 Deformaciones

Las deformaciones son los desplazamientos verticales de las piezas de estos pavimentos, que según su orientación se dividen en hundimientos, depresiones y ahuellamientos (cóncavas) y abultamientos (convexas). Son causadas por deformaciones del suelo por carga, aplastamientos, asentamientos por consolidación o expansión y contracción de algunas arcillas como la montmorillonita.

2.3.4.6 Desplazamientos

Son en sentido vertical y horizontal, pero poco influyen en la afectación de la integridad estructural de la vía pero sí en el servicio y en la estética de la misma. Se desglosan de esta forma:

- Desplazamientos de borde
- Desplazamientos de las filas e hileras de adoquines
- Escalonamientos de los bordes de confinamientos
- Escalonamientos de los adoquines o giro de los adoquines sobre su eje horizontal.

2.3.4.7 Daño superficial

Afectaciones superficiales mostradas más que nada en los adoquines y sus juntas, debido al paso del tiempo de servicio y depende de la calidad del material y de la instalación de los adoquines. Entre la variación de daño superficial se encuentran el desgaste superficial, la pérdida del sello de arena y las juntas abiertas entre adoquines.

2.3.4.8 Daño estructural

Es la evolución más severa de los casos patológicos que pueden llegar a afectar estructuralmente a los pavimentos articulados. Las fallas estructurales comunes son los baches, que son la pérdida de uno o varios adoquines, o hundimientos con profundidades excesivas. Una vía presenta daño estructural si evidencia casos como juntas abiertas, ahuellamientos y depresiones.

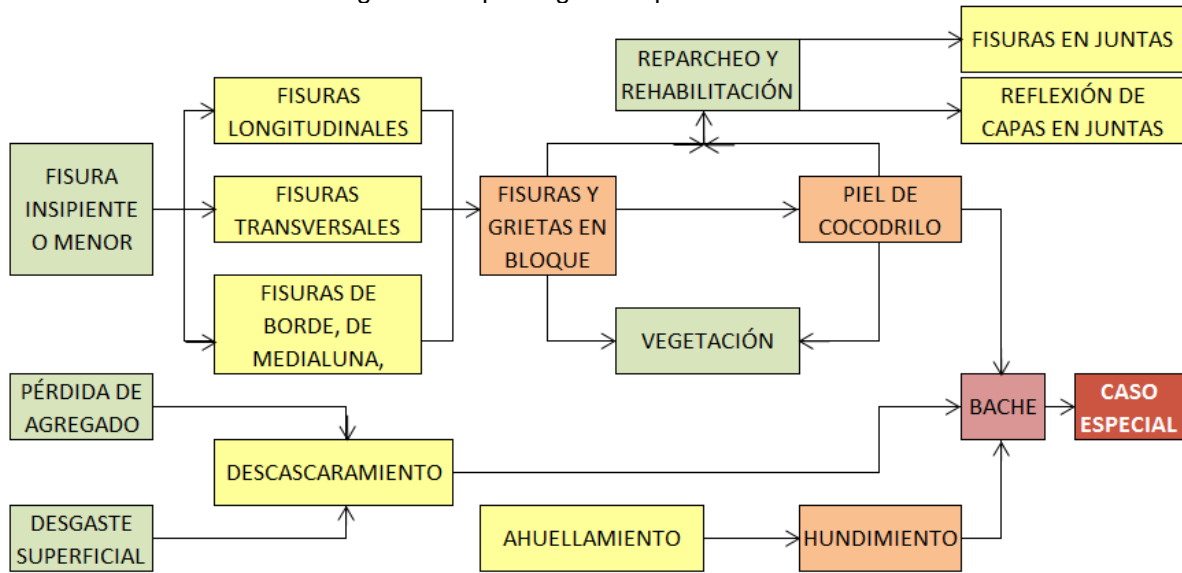
2.3.5 Ciclos patológicos de los pavimentos

2.3.5.1 Ciclo del pavimento flexible

Las primeras manifestaciones de daño son de carácter superficial, como el desgaste, pérdida de agregados y las fisuras mínimas. Las fisuras se van marcando y definiendo a partir de fisuras más diminutas, debido a factores adicionales como la fatiga del asfalto y los cambios de temperatura. El proceso constructivo define la dirección de las fisuras, longitudinales y transversales, pues dependen de las calidades diferenciales de las compactaciones en los dos carriles, y de la variación del CBR de la subrasante a lo largo de la vía, la cual es un parámetro fundamental en el diseño de las capas de soporte.

Las fisuras diminutas van creciendo hasta conectarse entre sí, llegando a formar fisuras en bloque, y más adelante fisuras en piel de cocodrilo, con divisiones de la capa de rodadura más pequeñas. Este tipo de fallas es un escenario favorable para la vegetación invasiva, gracias a la infiltración posible a través de las múltiples fisuras y grietas. Sin embargo, la acción del agua combinada con la carga de tráfico comienza a desintegrar estas divisiones hasta su desprendimiento, lo que conduce a formarse baches. Los baches son también generados por ahuellamientos y hundimientos previos, causados por defectos constructivos y de diseño, en donde la capa de asfalto se flexiona y se deforma hasta romperse, formando un bache posteriormente. Los baches con mucho tiempo sin reparaciones empeoran y en este estudio se denominan casos especiales.

Fig. 6: Ciclo patológico del pavimento flexible

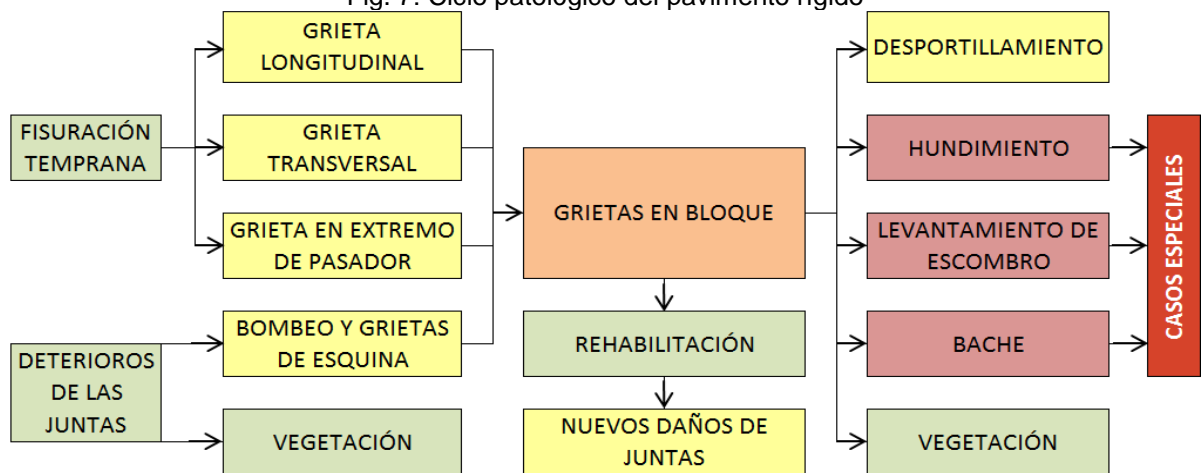


Fuente: Autor

2.3.5.2 Ciclo del pavimento rígido

Al igual que en los pavimentos flexibles, los primeros daños se dan superficialmente, pero las fisuras en diversos sentidos, aparte de ser causadas por la sobrecarga vehicular, fueron pre-marcadas como efecto de la contracción y expansión de la losa en el proceso de curado. El punto débil de este tipo de pavimento son las juntas, dentro de las cuales hay un sellado que impide la entrada del agua, y que amortigua los desplazamientos que se lleguen a presentar en las losas. El sello se desgasta y se daña con el tiempo y el uso, y si no se hace un buen control de estos daños, el agua puede entrar con más facilidad y disolver el componente fino de la base granular, reduciendo su capacidad de soporte. Las esquinas de las losas llegan a romperse al quedar como voladizos.

Fig. 7: Ciclo patológico del pavimento rígido

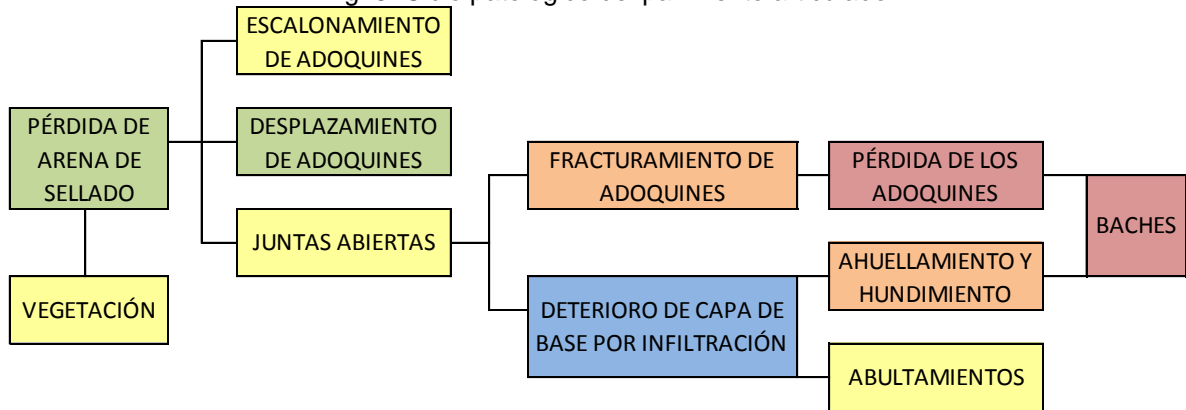


Fuente: Autor

Después de un tiempo, las fisuras se han propagado de tal manera que se unan dividiendo la losa en pequeños bloques. El agrietamiento en bloque favorece aún más la infiltración del agua, y por ende la reducción general del soporte en la base; en estas condiciones, los bloques de las losas son más propensos a hundirse, e incluso a levantarse si se encuentran sobre suelo expansivo. Además, la calidad del concreto define su durabilidad, pues superficialmente se descascara, se desportilla en los bordes y se desintegra al perder los componentes arenosos, tanto así que forma rugosidades excesivas para la comodidad del tráfico. La combinación de los daños más severos, como los hundimientos y los baches es la última etapa a la que llega el pavimento rígido en su proceso patológico.

2.3.5.3 Ciclo del pavimento articulado

Fig. 8: Ciclo patológico del pavimento articulado



Fuente: Autor

Para comprender este ciclo patológico, hay que entender el proceso constructivo, pues se sabe que el material de los adoquines tiene un buen desempeño mecánico, pero los adoquines son elementos discontinuos que han de colocarse de tal forma que queden ajustados y no puedan abrirse entre sí, por lo que es necesario un sellado de arena para reducir bien los espacios. Con el paso del tiempo, esta arena se va socavando como efecto de la escorrentía del agua lluvia, hasta tal punto que el agua se infiltra entre estos espacios. La manifestación de la pérdida masiva de la arena de la superficie se da en las juntas abiertas, pues dicho espacio ocupado por la arena le da mayor libertad a los adoquines para ser desplazados por el tráfico, formando escalonamientos, desplazamientos en sus vetas y la apertura de sus juntas.

Los adoquines llegan a un punto en el que fallan por flexión y compresión, se fracturan hasta llegar a desportillarse y desintegrarse. La pérdida de adoquines deja huecos que pueden denominarse baches, pero los baches son también causados por hundimientos excesivos de la vía, tales hundimientos formados por la reducción del desempeño del suelo de fundación de la vía gracias a la infiltración de las aguas lluvias.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 AUTORES NACIONALES E INTERNACIONALES

En el 2006, el Instituto Nacional de Vías, en alianza con la Universidad Nacional de Colombia, realizaron una clasificación y recopilación de los tipos de patología en pavimentos flexibles y rígidos, basados en información de otros manuales de fallas en otros países, del IDU y de autores nacionales. Estos son los documentos más importantes en el desarrollo del proyecto, que fueron complementados con otros manuales y sus criterios. Este trabajo investigativo es el que mayormente participa en los criterios finales de este estudio; sin embargo, hay algunos tipos de falla cuyos rangos de severidad fueron modificados ya que poseen medidas tan bajas que hacen de la práctica de evaluación de daños, un examen muy conservador.

El texto *Gestión de Infraestructura vial* (Solminihac, 2001), contiene tablas con una breve descripción de los tipos de falla más presentados en pavimentos flexibles y rígidos. Además de esto, hay métodos de inspección de las vías, logrados mediante equipos de monitoreo, que no hacen parte de este trabajo, pues no hay ninguna disponibilidad de estos artefactos. El libro se enfoca en una gestión del estado de los pavimentos en donde se evalúan los estados de servicio, y se dan instrucciones de cómo hacer mantenimiento a las instalaciones viales. El cuadro de las fallas sirve para detectar estas falencias a lo largo del periodo de diseño.

El libro *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (Montejo, 2002) habla de los tipos comunes de falla, y resume sus descripciones en tablas. Por otro lado describe métodos de chequeo como el método GERPHO, en inspección precisa de pavimentos, mediante un vehículo con una cámara filmadora que opera a altas velocidades, y propone un formato de inspección en función de la localización de las fallas a lo largo y ancho de la vía. Sin embargo, este proyecto maneja otro formato, en donde no se especifica la localización de la falla sino la cantidad de fallas por tramo, y asimismo la cantidad agrupada en cantidades por severidad.

El *Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria* (U. Javeriana, Ministerio de Transporte, 2007) es un proyecto en el que primero describen los tipos de pavimentos, luego la tipología de fallas en pavimentado y afirmado, y finalmente las posibles obras de reparación ante los daños. No obstante, la clasificación de las fallas se hizo en dos grandes grupos, en superficiales y en estructurales. Además, cuenta con una descripción de las severidades de los casos, la cual es vital para la evaluación de las vías en esta investigación.

Los ingenieros Carlos Higuera y Fabián Pacheco han publicado un artículo científico, titulado *Patología de Pavimentos Articulados* (Higuera & Pacheco, 2009), sustentado en varios claustros, entre ellos la Universidad Santo Tomás en el III

Congreso Internacional de Ingeniería Civil; en el cual se expone una metodología basada completamente en el Índice de condición de pavimento (PCI), pero adaptada con sus propios criterios a los pavimentos articulados, donde establecen los rangos de extensión y severidad para la diversidad de los tipos de daño, y aplicada para la evaluación de los tramos de los barrios Las Quintas y Suamox.

Sin embargo, algunos rangos y descripciones de severidad son ambiguos, debido a que dentro de ellos, en uno se describe el daño por extensión, y en otro se describe por magnitud de severidad; incluso hay rangos de severidad en los que incluyen otros tipos de daños o síntomas del daño principal, y por otra parte, algunos de estos rangos son muy conservadores para determinar el estado de las vías.

En España, un documento titulado *Sobre las enfermedades de los pavimentos de las carreteras* (Gallego & Val Melus, 2010) expone una teoría relacionada con las causas de las grietas en el pavimento flexible, que por lo general se deben a los ciclos de carga vehicular que causan fatiga general de sus capas causando fallas desde el fondo de las mismas, que es denominada Grieta Down-Up, pero gracias a investigaciones recientes, se pudo reconocer otra causalidad de las grietas, en la que intervienen procesos de envejecimiento del asfalto y bajo la acción de los cambios de temperatura y de la radiación UV, que contraen la capa de rodadura y generan grietas. Esto es importante ya que es un fenómeno que afecta directamente el ciclo patológico del pavimento flexible, siendo muy común en lugares como Tunja, de bajas temperaturas y una radiación solar más intensa.

Un artículo de revista, llamado *Fisuración temprana en pavimentos de concreto* (Becker, 2009) explica los resultados de una comprobación de hipótesis sobre la formación de fisuras en las losas de concreto, durante la etapa de fraguado, en la cual hay una transición entre propiedades fluidas y sólidas del concreto. Este estudio permite deducir que muchas grietas en estos pavimentos son la evolución de fisuras tempranas según la calidad de la mezcla y de la fundida, y no por otros procesos en el servicio como la sobrecarga y los asentamientos.

3.2 AUTORES LOCALES

3.2.1 Supervisión de contrato de parcheo y pavimentación de vías, Secretaría de Infraestructura Alcaldía de Duitama.

Fue un proyecto desarrollado en el año 2010, que consiste en una evaluación del estado de las vías de pavimento flexible en algunos corredores y tramos del municipio, determinando las vías más deterioradas, las cuales fueron rehabilitadas y reparadas con nuevos diseños de mezcla y de capas. El contrato correspondió a la administración municipal, y fue supervisado por el autor. Su marco teórico alberga la descripción de la malla vial actual, en cuanto a cobertura, usos y jerarquías, y habla acerca de los tipos de fallas encontradas en los pavimentos flexibles, descritos según el manual de inspección visual del INVIAS.

El proyecto dio buenos resultados ya que se pudieron reparar más de 5 km de vías, y en cuanto a los aportes, se encuentra que en el proyecto se tomaron decisiones inmediatas de reparación, pues estas dependían de la severidad de los daños, y la mayoría de ellos eran superficiales. En estos daños se describe brevemente el proceso de reparación de cada uno por lo que este informe ayuda a analizar los procedimientos de solución al problema ante las fallas en los pavimentos.

3.2.2 Evaluación y análisis de la estructura del pavimento de la calle 22 Avenidas Colón, Maldonado y Villa Olímpica de la ciudad de Tunja (Boyacá).

Fue un proyecto de varios estudiantes tomasinos presentado en el 2009. Abarca un estudio más riguroso a la calidad de los pavimentos de las vías ya mencionadas, considerando el volumen de tránsito, ensayos de campo como la viga Benkelman y la rueda de Merlín, los ensayos de laboratorio como el CBR, límites de consistencia y granulometría; todo esto para evaluar el estado en que se encuentran las vías estructuralmente. Sin embargo, el ingrediente principal del proyecto es la inspección visual de las vías orientada por el manual del INVIAS, y esta información fue usada para aplicar dos métodos de evaluación, el VISIR y el método PCI (Pavement Condition Index), también conocido como la norma ASTM D 6433-07.

Los resultados obtenidos son convincentes, pues el análisis determinó los segmentos de tramos de vía que necesitan reparaciones lo más antes posible, y los tramos que presentan daños superficiales, entre otros daños, poniendo a consideración elementos como el drenaje del agua y el tránsito circundante, y además, se describió la patología de estos tramos con un balance de los tipos de falla más presentados a nivel general y por tramos. Los aportes principales son los métodos de evaluación del VISIR y del PCI, que para este proyecto son una orientación hacia las técnicas de inspección y calificación de los pavimentos.

3.2.3 Inventario y diagnóstico de la red de pavimentos del municipio de Sopó, Cundinamarca.

Este proyecto se basa solamente en la inspección visual de los pavimentos, sin tener en cuenta factores adicionales como el tránsito y los materiales de construcción. El autor llevó a cabo un estudio de toda la cobertura de vías del casco urbano del municipio de Sopó, mediante el manual de inspección visual del INVIAS, evaluando el porcentaje de daños de todos los tramos.

Un punto muy importante es la cobertura de las fallas según su severidad, pues como resultados arroja porcentajes de fallas con cada severidad (baja, media y alta), y asimismo establece los tramos que deben ser reparados con la mayor prontitud. El proyecto aporta bastante a este, pues este estudio futuro a realizar únicamente consiste en un inventario de fallas mediante inspección visual, y también se sabe a ciencia cierta qué recursos de tiempo y de campo son los necesarios para lograr cumplir con sus objetivos.

3.3 RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS UTILIZADOS

Los documentos anteriores han aportado considerables conocimientos al desarrollo de este trabajo, pues hay varios puntos de vista tenidos en cuenta para hacer un diagnóstico, pero como espacio de muestra se concluye que es bastante pequeño, conllevando a un mayor rigor de estudio y una mayor gama de procedimientos de campo. Para este proyecto se toma prestado lo siguiente: el compendio de fallas elaborado por el INVIAS y la Universidad Nacional, con sus grados de severidad; la clasificación de las fallas en pavimentos articulados de Higuera y Pacheco.

El método ASTM D 6433-07 es un método basado en un inventario de todas las fallas posibles en el pavimento, ya sea por metro lineal, m^2 o por cantidad entera, que se agrupan mediante severidades (Alta, media y baja). El cálculo del PCI (de 0 a 100) se hace con un grupo de valores deducidos que son el máximo daño causado en términos de PCI. Cada tipo de falla posee una curva cuyos datos de entrada son la severidad y el porcentaje o densidad de influencia en la muestra, y el dato de salida es su respectivo valor deducido. Estos valores son ingresados a una tabla, son sumados y corregidos, para buscar al final el valor de dato más alto. El PCI será entonces la diferencia entre 100 y dicho valor encontrado.

Las ventajas tienen que ver con la trayectoria de estudio que ha llevado la ASTM para establecer empíricamente sus propios criterios de severidad de daños, y se aplica para vías que en el ámbito urbano son importantes y requieren un chequeo periódico, de rigor técnico, de tal forma que se evalúe respecto al tiempo el índice de condición del tramo hasta llegar a un punto en el que se requiera reparaciones.

Las desventajas son de procedimiento, pues en una vía muy deteriorada se necesita más tiempo para registrar no solo cantidades, sino profundidades, longitudes, y áreas de daño, que en clasificación de deterioros son más difíciles de interpretar. Esto implica estar en condiciones de tráfico y clima excepcionales con tal de garantizar una calidad de toma de datos en el menor tiempo posible y sin riesgos. En el cálculo del PCI se necesita consultar los ábacos del valor deducido para cada tipo de falla. Dado que son bastantes casos, se invierte mucho tiempo en los cálculos.

Otros métodos de campo utilizados como la rueda de Merlín, la viga Benkelman y los aforos, no se van a utilizar, porque este estudio no es riguroso y no es para un tramo especificado de vía sino para una muestra aleatoria, y además, requieren de más tiempo de estudio, mejores condiciones del entorno, y disponibilidad total de herramientas y mayor personal de trabajo.

4. METODOLOGÍA

4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO

El desarrollo del proyecto provino de información tomada de la ciudad de Tunja. Consiste en un inventario de los casos de los daños en las vías urbanas de Tunja, en puntos aleatorios descritos posteriormente, los casos dependerán del tipo de pavimento de cada tramo.

Otra variable de estudio es la calificación del estado de las vías seleccionadas, de 0 a 100, en la que se evalúa el estado actual de esta infraestructura a nivel general y a nivel local (por sectores), una variable que va de la mano con la clasificación de los tipos de patologías encontradas, ya que permite identificar los tipos de falla más críticos y a la vez identificar los más comunes, para otorgarles mayor importancia. El proyecto tiene dos propósitos en su desarrollo:

- Caracterización cuantitativa: Es el hallazgo del estado de servicio de los tramos de vía, en términos numéricos, el cual se comparó con los resultados a su alrededor.
- Caracterización cualitativa: Es el análisis de los diferentes tipos de casos patológicos, de acuerdo a cómo se originan; de esta manera se sabe si las vías tienen problemas por calidad de los materiales, proceso constructivo, tránsito en exceso o por sobrepaso de su vida útil.

La población universo son todas las calles del casco urbano de Tunja, de cualquier clase de pavimento. La muestra consiste en 200 tramos de calzada distribuidos en sectores o zonas, que dependen de la conformación de los barrios, los estratos sociales y la división de sectores por vías principales. Son 200 tramos de 100 metros, para un total de 20 km de vía, una muestra de aproximadamente 9% de las vías de la ciudad.

La distribución de los tramos en cada sector se hizo por áreas aferentes. Para cada punto de muestreo hay un registro de 3 fotografías en las que se muestran los panoramas de las vías, visualizando los deterioros más importantes; y se hizo un conteo de todos los casos patológicos presentes, clasificados por tipo y por severidad. Esta información se tabula en un formato propiamente diseñado, teniendo en cuenta el tipo de falla y la severidad de esta en cada uno de los tramos (ver anexo G)

4.1.1 Herramientas

En campo sólo se hace necesaria una cámara digital de alta resolución, un flexómetro para la medición de anchos y longitudes; una escuadra pequeña, para

medir aperturas de grietas, desplazamientos y deformaciones considerables. Para la localización y delimitación de zonas de estudio se utiliza la herramienta Google Maps y el programa ArcGis. Para la tabulación de datos y operaciones de cálculo se utiliza Microsoft Excel y para los informes de estudios, Microsoft Word.

4.1.2 Paso a paso

Paso 1. Utilizar el mapa de las vías y manzaneos de Tunja, en formatos de SIG, a través de entidades como Planeación Municipal o IGAC, como información de base.

Paso 2. Definir y dibujar los sectores de estudio, según parámetros de muestreo del anexo C.

Paso 3. Determinar el área de cada sector mediante atributo de área de polígonos en la base de datos.

Paso 4. Sumar el total de áreas y dividir los 200 tramos a evaluar entre el área total, dando como resultado una densidad de tramos por kilómetro cuadrado.

Paso 5. Multiplicar cada una de las áreas por la densidad hallada para obtener el número de tramos por sector.

Paso 6. Redondear los resultados según las cifras decimales, de tal forma que los sectores más pequeños posean una muestra de tramos representativa (por lo menos 5 tramos).

Paso 7. Crear capas de punto, una para cada sector, asignar los puntos de muestreo de acuerdo al anexo C.

Paso 8. Escoger mediante sorteo los números de vías a evaluar dentro de cada sector, según el anexo C. Luego de tener los números de vía, se achuran esos tramos indicando los 100 metros que se van a analizar.

Paso 9. Ir a cada tramo de vía para recolectar la información necesaria. Si hay muchos obstáculos por vehículos estacionados o peatones, o en el día de campo hay lluvias intensas, se suspende la visita y se aplaza. Muchos aplazamientos se hacen para las horas de la madrugada (6:00 a 7:00 am), ya que es una hora donde las vías están despejadas.

Paso 10. Contar y clasificar los casos de fallas, desgastes, entre otros, y clasificarlos de acuerdo a su severidad.

Paso 11. Medir el ancho de vía como parámetro de evaluación del estado de servicio y de la cobertura de la muestra según su material.

Paso 12. Se toman las fotografías como registro general y panorámico del estado de las vías.

Paso 13. Se recopila toda la información de campo para ser interpretada, mediante formatos de tabla por sector para datos de campo, y una carpeta de fotografías, organizadas por sector.

Paso 14. Calcular el estado de servicio del tramo (de 0 a 100) con las ecuaciones del método de evaluación.

Paso 15. Se promedian las calificaciones de los tramos en cada sector de la ciudad.

Paso 16. Se agrupan los datos de patología en tablas, se hacen gráficas de barras y se determina el tipo de patología más predominante a nivel global y por sector, entre otros indicadores de análisis.

Paso 17. Para cada polígono se asignan atributos numéricos y de texto.

Paso 18. Se ingresan los datos a los atributos para representarlos mediante mapas de zonificación.

Paso 19. Se hace un análisis de resultados a partir de las gráficas y de los mapas y se confronta la hipótesis citada en el proyecto.

Paso 20. Fase de conclusiones y recomendaciones del estudio, en cuanto al mejoramiento de la gestión de infraestructura vial en la ciudad.

Paso 21. Recomendaciones metodológicas

4.2 MÉTODO DE LA CAPACIDAD DE LOS DAÑOS

4.2.1 Definición

El método de la capacidad de los daños consiste en evaluar el estado de servicio de un tramo de vía, a partir de un inventario de casos patológicos registrado en el campo. Como su nombre lo indica, el estado de servicio depende en primera medida, de la cantidad de daño actual en la vía, con respecto a la cantidad de daños que puede albergar en condiciones de servicio hasta un punto en el cual la vía presente unas condiciones de total incomodidad de tráfico, bajo rendimiento, y de alto riesgo de deterioro de los componentes mecánicos de los vehículos.

Una vía, al igual que un elemento estructural, posee unos estados límite. Los dos estados límite fundamentales en toda evaluación patológica son el estado límite de servicio y el estado límite de falla. Para las estructuras, el estado límite de servicio es el punto en el que se debe interrumpir el uso de la estructura por señales como

4.2.2.1 El porqué de los casos especiales

Métodos tradicionales como el PCI evalúan el estado de las vías de acuerdo a solo 3 severidades, de tal manera que un estado igual a cero es aquel en donde la vía posea una gran cobertura de casos de severidad alta. Muchos de estos casos altos no son tan severos como otros, y no afectan gravemente el servicio de los tramos, por lo que un índice de condición de cero es un valor muy conservador para las condiciones de algunas vías evaluadas. Por ejemplo, en una evaluación de daños en la Avenida Maldonado (Ayala, Fuentes & Quintana, 2009) a través del PCI, hubo tramos con valores de cero, que al observarlos se sugiere que pueden seguir albergando más daño del actual, que no dificulta drásticamente el flujo vehicular.

Además, estos métodos fueron desarrollados en pistas de prueba, similares a pistas de automovilismo, donde las condiciones de operación se probaron a altas velocidades, a las que los casos patológicos se tornan más riesgosos para el movimiento de los vehículos. Obviamente son aplicados en países desarrollados, donde las mallas viales provienen de una planificación más estudiada de las urbanizaciones, en las cuales hay mejores condiciones de operación y se permite transitar a velocidades del orden de 140 km/h. En países como Colombia, las condiciones de operación de vehículos son totalmente distintas, y al evaluar los daños de un tramo, muy posiblemente se encuentre en un mal estado.

Se hace necesario que haya participación del daño complejo a nivel de la estructura, con el fin de apreciar a nivel de cada sector, los estados máximos, medios y mínimos de los tramos, identificando los sectores con los deterioros más críticos. Es por ello que el método incorpora una cuarta severidad, en la cual se agrupan los casos de daños serios a nivel estructural, y daños importantes que son producto de varios tipos de falla en conjunto, en grandes extensiones, y que dentro del tramo son muy frecuentes; la cuarta severidad se denomina severidad especial.

Gracias a los casos de severidad especial se puede lograr tener en cuenta el rango de daños entre el estado límite de servicio y el estado límite de falla, y se puede establecer en este método un valor de cero para los tramos que posean suficientes deterioros de carácter especial como para que el rendimiento del flujo de vehículos se reduzca al mínimo.

4.2.2.2 Extensiones y capacidades de los casos patológicos

Para formular el método mediante una ecuación, primero hay que definir unos criterios de extensión, que complementen los criterios de severidad. La extensión es la medida en la que se expresan los casos patológicos, en metros lineales para fisuras de línea o de curva, juntas escalonadas, vegetación, etc. y en metros cuadrados para grietas compuestas, depresiones, abultamientos, baches, descascamientos, etc. Sin embargo, el principio del método es la cantidad de daños que ocupan la superficie de la vía, por lo tanto, se deben expresar todos los

tipos de daños en extensión areal o por metro cuadrado, para que se puedan contar por unidad entera.

Todos los tipos de daños de acuerdo a su naturaleza, se cuentan con diferentes extensiones. Para cada tipo de falla hay que definir un valor de extensión máxima razonable para contarse como una, pero todos los tipos de falla no pueden tener la misma extensión, pues entre sí, tienen diferentes secuelas y afectan el servicio con diferentes magnitudes. No es lo mismo una grieta de severidad alta, comparada con un bache de la misma severidad, pues sus efectos son distintos en el servicio.

Por lo general, los casos menores tienen poca área de extensión, y los mayores, con mayores extensiones. No obstante, al registrar el inventario de casos en un tramo dado, se van a encontrar muchos ejemplares de cierto tipo de daño, pero estos casos no necesariamente tienen la misma extensión, hay algunos que llegan hasta 20 m² y otros que no superan la décima parte de un metro cuadrado. Esta variedad de extensiones de daños hace que se tenga que establecer un rango razonable de áreas para cada tipo de caso, para ser contado como 1; un rango que flexibilice el conteo, para compensar las probabilidades de registro de daños con extensiones muy pequeñas, y otras con extensiones muy grandes.

Tabla 1: Extensiones razonables de los tipos de falla en pavimento flexible.

PAVIMENTOS FLEXIBLES	EXTENSIÓN MÁXIMA (m ²)			EXTENSIÓN MÍNIMA (m ²)		
	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
TIPO DE FALLA						
Fisura Longitudinal	1,2	1,6	2	0,1	0,225	0,3
Fisura Transversal	1,2	1,6	2	0,1	0,225	0,3
Fisura Longitudinal en junta	0,8	0,8	0,8	0,16	0,16	0,16
Fisura transversal en junta	0,8	0,8	0,8	0,16	0,16	0,16
Reflexión de capas en juntas	0,8	0,8	0,8	0,16	0,16	0,16
Fisura en medialuna	1,6	2	2,4	0,52	0,65	0,78
Fisura de Borde	1,2	1,6	2	0,1	0,225	0,3
Fisuras en bloque	0,7	1,2	2	0,15	0,5	0,6
Piel de cocodrilo	0,5	1	1,6	0,1	0,3	0,5
Grietas en pozos o sumideros	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Deslizamiento de capas	1	1	1	0,4	0,4	0,4
Ondulación	1	1	1	0,4	0,4	0,4
Abultamiento	1,5	1,5	1,5	0,6	0,6	0,6
Hundimiento	1,2	1,2	1,2	0,3	0,3	0,3
Ahuellamiento	1	1	1	0,3	0,3	0,3
Descascaramiento	0,1	0,4	1	0,01	0,08	0,5
Bache	0,1	0,5	1	0,05	0,15	0,25
Parche	4	4	4	0,1	0,1	0,1
Otras fallas	0,1	1	1,5	0,01	0,1	0,1

Fuente: Autor

La tabla 1 muestra los diferentes casos para pavimento flexible, con sus respectivas extensiones razonables de conteo, máximas y mínimas, que de acuerdo a la formulación de este método son establecidas por el autor, basado en

observaciones a muchos deterioros y sus efectos en el funcionamiento de las vías, previas a las actividades de campo. Las extensiones para cada tipo de daño fueron dadas de tal forma que su conteo por unidad sea el más apropiado para la naturaleza del daño. Hay tipos de daño más influyentes que otros, y cuanto más influyente sea el daño para el servicio, más extensión individual posee.

La tabla de extensiones razonables es una guía para el registro en campo del inventario de daños. Por ejemplo, al encontrar una grieta en piel de cocodrilo, de alta severidad, si su extensión es menor a $1,6 \text{ m}^2$, se cuenta un caso; y si es mayor a ésta área, se cuentan dos casos.

Todas las extensiones son por metro cuadrado, inclusive las extensiones de casos lineares. En un caso linear se multiplica la extensión linear máxima (4 m) por el ancho aferente de las fisuras razonable que puede tener para no combinarse con otros casos ni acomplejar los casos.

El siguiente paso es promediar todas las extensiones de acuerdo a su severidad, ya que dentro de una vía se presentan diversos tipos de casos patológicos, cada uno con un rango establecido de extensiones, esto con el fin de compensar los márgenes de error en la estimación visual de las áreas de daño con las que se registran las unidades de casos.

Tabla 2: Formulación; promedio de extensiones.

EXTENSIONES MÁXIMAS (m ²)				EXTENSIONES MÍNIMAS (m ²)			
BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL
1,0105	1,2316	1,4737	4	0,2168	0,2861	0,3479	3

Fuente: Autor

Sin embargo, es requerido dar niveles de importancia a todas las severidades, ya que con el paso del tiempo los casos patológicos evolucionan. El factor de ponderación es proporcional a las severidades del daño. Para el método, se define un estado límite intermedio entre el de servicio y el de falla. Para la formulación, la ponderación de los casos especiales es igual a la de los casos de severidad alta, de modo que ambas representen el 60% del rango total del estado de servicio, en donde la vía se encuentre en mal o peor estado; y la ponderación de los casos medios debe tener una importancia cercana a la de los casos altos. Por tanto, las ponderaciones se definen de esta manera: 15% para los casos bajos, 25% para casos medios, 30% para casos altos y 30% para los casos especiales.

Tabla 3: Formulación; ponderación según severidades

SEVERIDADES	EXTENSIONES MÁXIMAS (m ²)				EXTENSIONES MÍNIMAS (m ²)			
	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL
PROMEDIO DE EXTENSIONES	1,0105	1,2316	1,4737	4	0,2168	0,2861	0,3479	3
PONDERACIÓN	0,15	0,25	0,3	0,3	0,15	0,25	0,3	0,3

Fuente: Autor

El surgimiento y distribución de los daños, por muy severos que sean, dejan intersticios que aún están en *buen estado*; es decir que los daños tienen una efectividad en área, similar a la efectividad del volumen real que ocupa un metro cúbico de gravilla en un cubo de un metro cúbico, en el cual aún hay espacios entre los agregados. Un tramo, cuanto más deteriorado, deja menos intersticios; para este método, se va a calcular la capacidad para un potencial de área de 60% de daño y 40% de intersticios.

Además, se define también el tamaño estándar de vía, dimensiones de vía más frecuentes en cuanto a su ancho de calzada. Las vías generalmente se construyen para dos carriles, y el ancho favorable para este tipo de vías es de 6 metros, por lo tanto al evaluar tramos de 100 metros, el área estándar de vía es de 600 m². La siguiente operación es tomar esa área, multiplicarla por el 60% efectivo para el estado cero, y dividirla entre los promedios de extensiones en área de las severidades; dando como resultado la capacidad exclusiva, en otras palabras, la cantidad de casos de una sola severidad que caben en la vía.

Como se observa en la tabla 4, la cantidad de daños en capacidad exclusiva es mayor en los casos bajos y menor en los casos especiales, por lo que se tiende a albergar mucha más cantidad de casos de consecuencias menores en el servicio.

Tabla 4: Formulación; capacidades exclusivas.

SEVERIDADES	EXTENSIONES MÁXIMAS (m ²)				EXTENSIONES MÍNIMAS (m ²)			
	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL
PROMEDIO DE EXTENSIONES	1,0105	1,2316	1,4737	4	0,2168	0,2861	0,3479	3
PONDERACIÓN	0,15	0,25	0,3	0,3	0,15	0,25	0,3	0,3
ÁREA ESTÁNDAR (m ²)	600				600			
EFFECTIVIDAD DE ÁREA	0,60				0,60			
ÁREA EFECTIVA (m ²)	360				360			
CAPACIDAD EXCLUSIVA	356,25	292,31	244,29	90,00	1660,19	1258,51	1034,80	120,00

Fuente: Autor

Después, se halla la capacidad repartida, multiplicando la capacidad exclusiva por la ponderación correspondiente.

Tabla 5: Formulación; capacidades repartidas.

SEVERIDADES	EXTENSIONES MÁXIMAS (m ²)				EXTENSIONES MÍNIMAS (m ²)			
	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL
PROMEDIO DE EXTENSIONES	1,0105	1,2316	1,4737	4	0,2168	0,2861	0,3479	3
PONDERACIÓN	0,15	0,25	0,3	0,3	0,15	0,25	0,3	0,3
ÁREA ESTÁNDAR (m ²)	600				600			
EFFECTIVIDAD DE ÁREA	0,60				0,60			
ÁREA EFECTIVA (m ²)	360				360			
CAPACIDAD EXCLUSIVA	356,25	292,31	244,29	90,00	1660,19	1258,51	1034,80	120,00
CAPACIDAD REPARTIDA	53,438	73,077	73,286	27,000	249,029	314,627	310,439	36

Fuente: Autor

La capacidad repartida es el potencial de casos albergados por cada severidad, pero hay dos capacidades, máxima y mínima, de acuerdo a la extensión de los casos. Como no se conoce a ciencia cierta la extensión de cada caso encontrado, se asume por probabilidad que se encontrarán casos entre la máxima y la mínima extensión en un solo tramo, y la variedad de extensiones encontradas dentro del rango del conteo de casos permite que grandes tamaños de casos compensen los tamaños más pequeños y viceversa. Por esta razón, la capacidad por cada severidad, será el promedio de las capacidades máximas y mínimas de cada severidad. La capacidad de daños se aproxima por exceso o por defecto.

Tabla 6: Formulación; capacidad promedio de daños.

SEVERIDADES	EXTENSIONES MÁXIMAS (m ²)				EXTENSIONES MÍNIMAS (m ²)			
	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL
PROMEDIO DE EXTENSIONES	1,0105	1,2316	1,4737	4	0,2168	0,2861	0,3479	3
PONDERACIÓN	0,15	0,25	0,3	0,3	0,15	0,25	0,3	0,3
ÁREA ESTÁNDAR (m ²)	600				600			
EFFECTIVIDAD DE ÁREA	0,60				0,60			
ÁREA EFECTIVA (m ²)	360				360			
CAPACIDAD EXCLUSIVA	356,25	292,31	244,29	90,00	1660,19	1258,51	1034,80	120,00
CAPACIDAD REPARTIDA	53,438	73,077	73,286	27,000	249,029	314,627	310,439	36
CAPACIDAD DE DAÑOS	151,233	193,852	191,862	31,5				

Fuente: Autor

Las capacidades recién calculadas corresponden solo a capacidades areales, es decir, una capacidad cuantitativa de daños, pero no como tal una capacidad de daños para el servicio, ya que el método no mide un porcentaje simple de áreas sino la calidad del servicio que puede prestar la vía, y obviamente un metro cuadrado de severidad alta reduce más la calidad de servicio que un metro cuadrado de severidad media o baja. Es por ello que la capacidad de casos debe reducirse con un factor, que depende de la reducción de la calidad de la vía en cuanto a su confortabilidad, tiempo de recorrido, y probabilidad de ser transitada.

Para los casos de severidad alta se utiliza un factor de 0,5, que puede interpretarse así: El tramo en condiciones óptimas, está diseñado para una velocidad operativa en promedio de 30 km/h, y si dicho tramo está saturado de daños en severidad alta, su velocidad operativa se reduce aproximadamente a 15 km/h. Por otra parte, de los conductores que frecuentemente recorren el sector, que hagan una ruta que pase por dicho tramo, un 50% pasaría por dicho tramo pese a las condiciones de calidad de servicio, y el otro 50% elegiría otras rutas.

Tabla 7: Formulación; ajuste y redondeo de capacidades.

SEVERIDADES	EXTENSIONES MÁXIMAS (m ²)				EXTENSIONES MÍNIMAS (m ²)			
	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL
PROMEDIO DE EXTENSIONES	1,0105	1,2316	1,4737	4	0,2168	0,2861	0,3479	3
PONDERACIÓN	0,15	0,25	0,3	0,3	0,15	0,25	0,3	0,3
ÁREA ESTÁNDAR (m ²)	600				600			
EFFECTIVIDAD DE ÁREA	0,60				0,60			
ÁREA EFECTIVA (m ²)	360				360			
CAPACIDAD EXCLUSIVA	356,25	292,31	244,29	90,00	1660,19	1258,51	1034,80	120,00
CAPACIDAD REPARTIDA	53,438	73,077	73,286	27,000	249,029	314,627	310,439	36
CAPACIDAD DE DAÑOS	151,233	193,852	191,862	31,5				
FACTOR DE REDUCCIÓN	0,8	0,6	0,5	0,4				
CAPACIDAD FINAL	120,987	116,311	95,9311	12,6				
APROXIMACIÓN	121	116	96	13				

Fuente: Autor

4.2.2.3 Ecuación general de la capacidad de daños (planteada y propuesta por el Autor)

La pregunta es, ¿cómo generalizar el método para cualquier cantidad de daños registrados, en vías que no son estándar? No todos los tramos analizados son de 600 m², y no todos poseen la misma cantidad de casos de iguales proporciones.

Se tiene en cuenta que para un tramo de vía estándar, 121 casos de severidad baja equivalen al 15% del potencial de servicio; por otra parte, el estado de servicio en función de la cantidad de los casos no disminuye linealmente, por lo que hay que definir una función parabólica que caracterice la reducción del estado de servicio en función de las fallas, con un exponente de 1,5, ya que exponentes mayores hacen la función muy sensible en situaciones donde el número de casos se acerca a los 121 (severidad baja), y la reducción del estado de servicio es bastante súbita al evaluar entre 120 y 121 casos. La figura 10 ilustra los comportamientos de las curvas en el estado de servicio estándar.

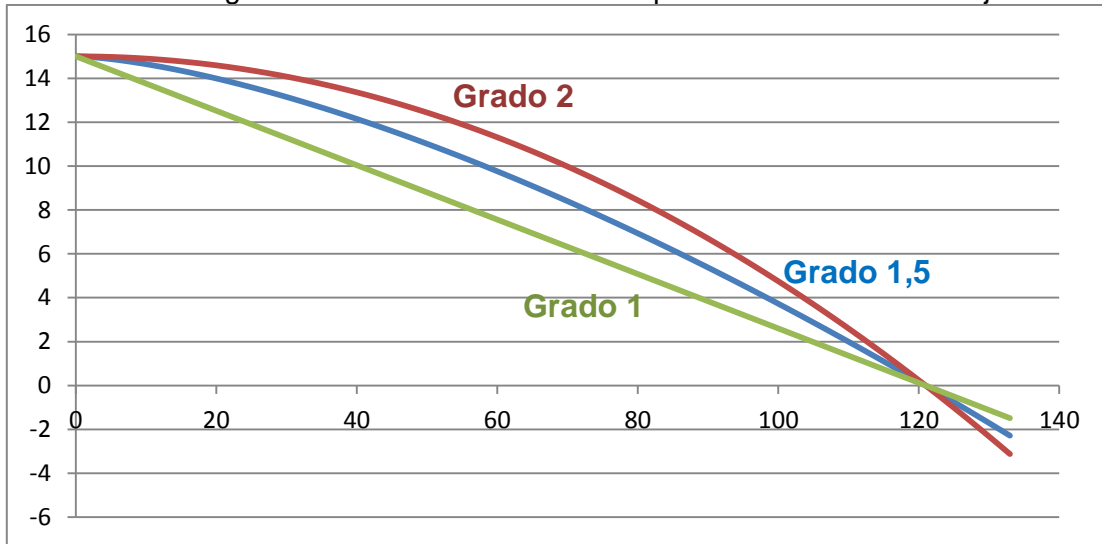
Para formular la función, se debe construir con la ecuación general de las parábolas de grado n:

$$f(x) = kx^n$$

En este caso, $f(x)$ corresponde a 0,15 o la ponderación de los casos bajos, x equivale a la capacidad de 121 casos, y n el exponente de 1,5; luego la incógnita es k . Como la parábola es decreciente, es decir, el estado de servicio disminuye con el aumento de x ; k toma el signo negativo.

$$k = \frac{f(x)}{x^n} = -\frac{0,15}{121^{1,5}} = -1,1269 * 10^{-4}$$

Fig. 10: Grados de curvatura en la parábola de severidad baja



Fuente: Autor.

No obstante, este parámetro k sólo se aplica para tramos de 600 m^2 . La capacidad de daños es directamente proporcional al área del tramo, por lo tanto se implementa un factor de conversión.

$$\text{Daños} = 121 * \frac{LX}{600} \text{ donde } LX \text{ son las dimensiones variables del tramo}$$

Todo el factor de conversión se eleva a 1,5; para conformar un parámetro k fijo, pero variable en cuanto al daño y las dimensiones del tramo.

$$k = -\frac{0,15}{\left(\frac{121 LX}{600}\right)^{1,5}} = -1,656 (LX)^{-1,5}$$

Para cada severidad se configura un k , según las capacidades

$$k \text{ medio} = -\frac{0,25}{\left(\frac{116 LX}{600}\right)^{1,5}} = -2,941 (LX)^{-1,5}$$

$$k \text{ alto} = -\frac{0,3}{\left(\frac{96 LX}{600}\right)^{1,5}} = -4,6875 (LX)^{-1,5}$$

$$k \text{ especial} = -\frac{0,3}{\left(\frac{13 LX}{600}\right)^{1,5}} = -94,066(LX)^{-1,5}$$

Se definen las ecuaciones parciales de cada parábola

$$\begin{aligned}ES \text{ bajo} &= 0,15 - 1,656(LX)^{-1,5}B^{1,5} \\ES \text{ medio} &= 0,25 - 2,941(LX)^{-1,5}M^{1,5} \\ES \text{ alto} &= 0,3 - 4,6875(LX)^{-1,5}A^{1,5} \\ES \text{ especial} &= 0,3 - 94,066(LX)^{-1,5}E^{1,5}\end{aligned}$$

Se incorporan todas las ecuaciones, sumando los términos y factorizando LX

$$ES = 1 - (LX)^{-1,5}(1,656B^{1,5} + 2,941M^{1,5} + 4,6875A^{1,5} + 94,066E^{1,5})$$

Dado que el estado de servicio es de 0 a 100, se multiplica todo por 100

$$ES = 100 * S [1 - (LX)^{-1,5}(1,656B^{1,5} + 2,941M^{1,5} + 4,6875A^{1,5} + 94,066E^{1,5})]$$

Dónde:

ES: Estado de servicio del tramo evaluado

S: Factor de daño superficial

LX: área del tramo evaluado

B: Cantidad de casos de severidad baja

M: Cantidad de casos de severidad media

A. Cantidad de casos de severidad alta

E: Cantidad de casos de severidad especial

En el caso donde la cantidad registrada de daño supere la capacidad de daño, se recalcula la cantidad registrada como recalibrada, que equivale a la capacidad inicial más una cantidad excedida de hasta el 10% de ésta.

En el tramo A112 se contaron 42 casos de severidad baja, pero el área de este tramo alberga 31,33 casos por 154,1 m², que equivalen a los 122 casos bajos por 600 m² establecidos en el cálculo. Se halla el 110% de la capacidad, que es de 34,47 y este último valor se aproxima por exceso o por defecto. La cantidad de daños recalibrada del tramo en severidad baja será de 34 casos.

Las formulaciones en los demás tipos de pavimentos se encuentran en el anexo A.

4.2.6 Coeficiente de daño superficial (S) (planteado por el Autor)

El resultado del estado de servicio calculado debe ser multiplicado por un coeficiente de daño superficial. Son daños generalizados en toda el área del tramo, y es muy dispendioso medir con exactitud el área de este tipo de daños, si se desea estimar el conteo de casos superficiales de desgaste, pulimento, desprendimiento de partículas, etc. El máximo daño superficial no significa la llegada al estado de falla, ni siquiera la del estado de servicio, aunque de acuerdo al tipo de pavimento, el daño superficial puede variar en importancia.

Además, el daño superficial, a medida que el estado de servicio se reduce, comienza a perder importancia, ya que en una vía bastante dañada, el daño superficial deja de ser el principal responsable de la reducción de la calidad del servicio. Ejemplo: una vía posee un estado de servicio bruto de 90, y la otra con un estado de servicio bruto de 50; ambas con un factor de daño superficial de 0,88. Al calcular el estado de servicio neto, se obtiene 79,2 y 44 respectivamente, y la diferencia de los estados bruto y neto es de 10,8 y de 6 respectivamente. Esto indica que la vía con el mejor estado de servicio será la más afectada por el daño superficial, que depende del mismo estado de servicio, y se hace más influyente.

Para cada tipo de pavimento, se tienen en cuenta las clases de daño superficial más influyentes; puesto que unas son más drásticas que otras, poseen sus correspondientes ponderaciones, y asimismo se establece a criterio propio la influencia total del daño superficial más severo según el material de las vías.

Para los pavimentos flexibles, los tipos de daño superficial más reconocidos son el desgaste superficial, la pérdida de agregados gruesos y el pulimento. En este caso, la pérdida de agregados y el desgaste superficial, son los daños superficiales primarios y más comunes, y el pulimento como daño secundario o síntoma, pues es una pérdida uniforme del asfalto y del agregado como consecuencia de las otras dos pérdidas, y que depende de la calidad de los materiales. Otro caso secundario es el de cabezas duras, producto de la alta severidad del desgaste superficial, que no se considera en este estudio.

Dentro de la formulación en daño superficial, los tipos de daño tienen diferentes incidencias en el servicio, por lo que hay que definir qué tanto participan en el factor S. Las incidencias dependerán de lo que se afecta en el funcionamiento de los tramos, y también de los defectos de diseño, materiales y construcción que en últimas son producto de anomalías de gestión en cualquiera de las etapas de la labor de construcción o mantenimiento.

La importancia de los tipos de daño, se define por puntuación de cada uno frente a sus efectos en el servicio, y frente a su origen a causa de mala gestión en el proceso de diseño y construcción. Para el pavimento flexible, se consideran dos tipos de daño, a uno se le asigna un punto, y al otro se le asignan dos puntos, de acuerdo a su influencia relativa por gestión y por servicio, en la tabla 8.

Después de ponderar los tipos de daño en la tabla 9, se establece el valor mínimo de S al que se llega si la vía posee los dos tipos de daño, más severos y con la total cobertura. Para los pavimentos flexibles, es de 0,82, un factor lo suficientemente bajo para destacar la rebaja del estado de servicio a causa de la calidad constructiva; y lo suficientemente alto para eliminar la arbitrariedad de la evaluación de daños al solo contarse con dos tipos de daño.

Tabla 8: Influencia de daño superficial en pavimento flexible.

Tipo de daño	Influencia por servicio		Influencia por gestión	
	Puntaje	Justificación	Puntaje	Justificación
Desgaste superficial	2	Los agregados expuestos, hacen que la rugosidad de la vía genere ruidos molestos a altas velocidades, e incluso exista desgaste rápido de neumáticos.	2	Como se debe a dosificaciones inadecuadas y calidad del asfalto, intervienen factores de economización del asfalto, pues es el componente de mayor valor.
Pérdida de agregado	1	Los espacios de los agregados desprendidos no afectan el servicio, pero más adelante puede evolucionar en descascaramientos.	1	Además de aspectos de gestión, intervienen otros factores como el clima. Es menos dependiente del rigor del diseño.

Fuente: Autor

Tabla 9: Ponderación de influencias de daño.

DAÑO	SERVICIO	GESTION	SERVICIO (%)	GESTION (%)	PROMEDIO (%)	AJUSTE FINAL (%)
DESGASTE	2	2	66,67	66,67	66,67	70
PERDIDA	1	1	33,33	33,33	33,33	30

Fuente: Autor

Por tanto, el valor potencial a reducir es de 0,18, que se multiplica por cada factor de importancia del tipo de daño, y se plantea la fórmula para el factor S

$$S = 1 - (0,7 * 0,18)D - (0,3 * 0,18)P = 1 - 0,126D - 0,054P$$

Sin embargo, el factor también depende de la extensión porcentual del daño en el tramo, por lo que los dos términos se multiplican por la cobertura del daño.

$$S = 1 - 0,126D * \%cob - 0,054P * \%cob = 1 - (0,126D + 0,054P)\%cob$$

Los valores para D y P, dependen exclusivamente de la severidad de los daños. Estos valores de la tabla 10 aplican para todo lo relacionado con daño superficial; la severidad baja puede ser despreciable, pero se tiene en cuenta; la severidad media es un punto en el que la superficie manifiesta mucho tiempo de uso y de exposición, por lo que tiene un valor de 0,7.

Tabla 10: Valores para daño según la severidad.

SEVERIDAD	DESGASTE SUPERFICIAL (D)	PÉRDIDA DE AGREGADO (P)
No hay daño	0	0
Baja	0,2	0,2
Media	0,7	0,7
Alta	1	1

Fuente: Autor

4.2.7 Cálculo del estado de servicio en tramos combinados

Algunas veces se encuentran tramos de dos o más tipos de pavimento. El estado de servicio definitivo equivale al promedio de los estados de servicio parciales, el cual se pondera por longitud.

$$ES_{prom} = \frac{ES_1 * L_1 + ES_2 * L_2}{L_1 + L_2}$$

4.2.8 Promedio de estados de servicio a nivel de sector y a nivel global

Para el estado de servicio representativo, se toma todo el conjunto respectivo de tramos y se promedia su estado de servicio por longitud.

$$ES_{SECTOR} = \frac{\sum_{i=1}^n (ES_i * L_i)}{\sum_{i=1}^n (L_i)} \qquad ES_{GLOBAL} = \frac{\sum_{i=1}^n (ES_i * L_i)}{\sum_{i=1}^n (L_i)}$$

5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL UNIVERSO

Tunja es la capital del departamento de Boyacá, Colombia; fundada en 1539; con una población proyectada de 188.340 habitantes para el 2015 (DANE, 2010), una altitud de 2800 msnm y una temperatura media de 13°C. Tunja es una ciudad en la que predominan las actividades de los sectores comerciales, culturales y educativos gracias a las universidades y la población de estudiantes que acogen.

5.1.1 Vías de acceso

Sus principales vías de acceso son:

-Vía a Bogotá en el suroccidente del casco urbano, entrando por el sector Plaza de mercado del sur, barrios Bolívar, San Francisco, La Florida y Los Hongos.

-Vía a Villa de Leyva (transversal 19) en la parte occidental, barrios La Fuente y Altamira.

-Vía a Paipa, Duitama y Sogamoso (Avenida Norte), sector Parque Industrial y zona rosa.

-Vía a Moniquirá, Barbosa y Bucaramanga, a partir de la glorieta Norte hacia el occidente, barrios La María, San Ricardo, Colinas del Norte y sector Normal Femenina.

Sus vías secundarias de acceso son:

-Salidas de Tunja a la Avenida Circunvalar al costado oriental, que conectan con las vías a los municipios vecinos.

-Variante de la circunvalar a Soracá desde el sur, desde el sector de barrios San Francisco y Ciudad Jardín.

-Salida a Soracá desde el suroriente, desde el sector de barrios Patriotas y Xativilla.

-Variante de la circunvalar a Chivatá y Siachoque, desde el sector de barrios El Dorado y San Luis.

-Salida a la Avenida Circunvalar en el Norte, por la carrera 2 Este, desde el sector de barrios La Arboleda y Balcones de Terranova.

5.1.2 Composición de la malla vial

La malla vial del casco urbano de Tunja, se compone de acuerdo a las categorías de vía, en la tabla 11, pero hay que tener en cuenta que son datos del año 2001, y que actualmente el casco urbano ha presentado expansiones considerables.

Tabla 11: Composición de la red vial de Tunja por categorías.

RED VIAL MUNICIPAL	LONGITUD (Km)	Porcentaje
Regionales	36,3	16,57%
Arterias	64,8	29,58%
Colectoras	38	17,34%
Locales	80	36,51%
Total	219,1	100%

Fuente: POT Tunja, 2001

5.1.3 Composición de los sectores del estudio

Tunja, de acuerdo al presente estudio, se compone de 17 sectores, nombrados por letras según el anexo H.

Los tramos viales no tenidos en cuenta dentro del universo de estudio son los siguientes:

-Viaducto Juan Nepomuceno Niño, es un corredor recién construido, y es riesgoso para una inspección de daños.

-Salida a Monquirá, desde el barrio San Ricardo hasta la Normal Femenina, por las mismas razones.

-Mallas viales residenciales en torno al sector O, pues es un sector dedicado a la Avenida Universitaria, y son tramos de poco uso, pues el uso del sector es residencial en proceso inicial de urbanización, y su deterioro es natural.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

La cantidad de tramos se calcula en función del área aferente de los 17 sectores, descritos en el anexo E, distribuyendo la totalidad de los tramos de estudio. Cada tramo tiene su localización y dirección, expuestos en la tabla 33.

Las porciones decimales de los tramos, ganadas y perdidas en las aproximaciones, hacen que se pierda un tramo, por esta razón se asigna un tramo extra a los 200 inicialmente previstos. Dado que el sector más pequeño (Sector O), debe tener al menos 5 tramos, y que el sector más irregular en forma (Sector H), llega a poseer 8 tramos por aproximación, se establece que el sector H pasa a tener 7 tramos, y que el tramo sobrante, complete la cantidad requerida para el sector O.

6. RESULTADOS

De acuerdo a la metodología establecida para el desarrollo del proyecto, los resultados finales se obtuvieron a partir de varios procedimientos. Teniendo en cuenta las dimensiones de los tramos, la cantidad de casos patológicos, y sus factores de daño superficial, en primera instancia se calculan los estados de servicio de cada tramo de la muestra, y cada porción de tramo para los tramos combinados.

Se promediaron los estados de servicio de los tramos combinados para el estado de servicio definitivo. Ya con estos resultados individuales se procede a promediarse a nivel de los sectores y a nivel global. Por otra parte, se hicieron las sumatorias de áreas de material en cada sector, y después la sumatoria global de áreas; de igual forma para la cantidad de casos patológicos registrados, por severidad y por tipo.

6.1 CANTIDAD DE MUESTRA

Como parte de los resultados, vale la pena enunciar los datos del muestreo de acuerdo a materiales y dimensiones de los tramos. La muestra tomada se compone de 171 tramos completos (de 100 m), 8 tramos incompletos (menores a 100 m) y 22 tramos combinados, sumando 201 unidades de muestra totales en el estudio.

Se inspeccionó un área total de 125.278,52 m², equivalente a 20.024,6 m de longitud. Según el material, se promediaron los anchos con base en las sumatorias parciales, que oscilan entre 5,08 y 7,19 m. El ancho promedio de toda la muestra es de 6,26 m.

Para el resultado final de la suma de áreas por material, se tuvo en cuenta que los tramos mixtos se suman como tramos de pavimento flexible, por la superficie que predomina los tramos. El pavimento flexible es el más abundante con una cobertura de más de 71% (89.428 m²), y el tipo de pavimento menos frecuente es el articulado con apenas el 4,51%. Los datos están en la tabla 40 en detalle.

6.2 ESTADO DE SERVICIO

El resultado final del cálculo del estado de servicio promedio a nivel global es de 85,13. Para todos los tramos y porciones de material asfáltico, se obtuvo un estado promedio de 88,96; para los pavimentos rígidos, su estado de servicio general es de 70,29, y para pavimentos articulados y mixtos, valores de 91,42 y 73,69 respectivamente. Los máximos y mínimos se encuentran en la tabla 37.

Tabla 12. Estados de servicio promedio.

SECTOR A	82,58	SECTOR L	84,57
SECTOR B	80,15	SECTOR M	93,15
SECTOR C	67,42	SECTOR N	88,32
SECTOR D	75,86	SECTOR O	83,45
SECTOR E	90,62	SECTOR P	94,34
SECTOR F	86,94	SECTOR Q	79,83
SECTOR G	91,82	FLEXIBLE	88,96
SECTOR H	93,65	RÍGIDO	70,29
SECTOR I	85,91	ARTICULADO	91,42
SECTOR J	86,01	MIXTO	73,69
SECTOR K	80,86	GLOBAL	85,13

Fuente: Autor

6.3 TIPOS Y CANTIDADES DE FALLA

La cantidad de casos registrados, por tipo de falla, indica que en los pavimentos flexibles y rígidos predomina la grieta en bloque, mientras que en los pavimentos articulados se destaca el fracturamiento o ruptura de adoquines. El resumen de esta sumatoria de casos se encuentra en el anexo G.

De acuerdo a la severidad de los casos, a nivel general, fueron registrados un total de 12896 casos, donde los casos bajos fueron los más predominantes con el 43,09%, y la cantidad de casos en las otras severidades va decreciendo al aumentar la severidad.

Tabla 13. Sumatoria general de casos patológicos.

MATERIAL	BAJO	MEDIO	ALTO	ESPECIAL	TOTAL
FLEXIBLES	3222	3087	1193	124	7626
RIGIDOS	1874	818	1501	62	4255
ARTICULADOS	363	239	49	4	655
MIXTOS	98	204	58	0	360
TOTAL	5557	4348	2801	190	12896
TOTAL (%)	43,09%	33,72%	21,72%	1,47%	100%

Fuente: Autor

Las tablas anteriores resumen los datos generales de los resultados, estos datos entran en detalle en los anexos, y la discusión e interpretación de estos datos se llevan a cabo en el capítulo de análisis de resultados, tanto a nivel global como a nivel de los sectores.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 ANÁLISIS GLOBAL

El propósito del análisis global es tratar de describir la malla vial de Tunja a nivel general, con base en los resultados globales obtenidos, de los estados de servicio, los tipos de pavimento y los tipos de falla más presentados, esto como un conjunto de indicadores de gestión de la infraestructura. Han de utilizarse los mapas de zonificación por sectores para una rápida comparación de los parámetros principales del análisis, con respecto a las cifras globales, y herramientas estadísticas que establezcan las tendencias en los estados de servicio calculados.

7.1.1 Descripción de la calidad del servicio de los tramos

La siguiente tabla muestra los rangos del estado de servicio con la descripción general de cada uno del estado de la vía y de su funcionamiento.

Tabla 14. Descripción de rangos de estados de servicio.

Rango	Características	Cantidad registrada de tramos
98-100	Vías en óptimo estado , alrededor de un año de funcionamiento, casos patológicos de bajas severidades en sitios aislados, no perceptibles a simple vista por los conductores.	14
95-98	Vías en excelente estado , entre 1 y 4 años de funcionamiento, puede haber casos esporádicos de alta severidad, aislados, no dificultan para nada el servicio del flujo de vehículos. Hay daño superficial generalizado, no detectado a simple vista.	30
90-95	Vías en buen estado , entre 4 y 8 años de funcionamiento, con casos generalmente extendidos y/o concentrados, que pueden dificultar las maniobras a alta velocidad de acuerdo al caudal de vehículos. No son riesgosos para la integridad de los vehículos.	41
80-90	Vías en estado aceptable , con una tasa moderada de casos, incluso casos especiales de forma aislada, que pueden reducir bastante la rapidez de marcha si se desea mantener la vida útil de los mecanismos de suspensión; o casos tomados como reductores de velocidad.	55
70-80	Vías en estado regular , con una distribución general de casos bajos, medios y altos. Son vías molestas para los conductores de vehículos livianos y motocicletas, pero son transitadas con ciertas precauciones según la naturaleza de los casos, y han tenido algún tipo de mantenimiento.	27
60-70	Vías en mal estado , en donde comienzan a prevalecer los baches a partir de grietas evolucionadas y desprendimientos, no ha habido mantenimiento en mucho tiempo. No son incómodas para el tráfico	12

	pesado, siempre y cuando haya despeje en el caudal de tráfico.	
40-60	Vías en muy mal estado , el daño es general, con altas probabilidades de generación de casos especiales. Los conductores generalmente procuran idear la forma de pasar estos tramos por las zonas menos perjudicadas.	8
20-40	Vías en pésimo estado , no aptas para tráfico liviano, con casos especiales y altos reiterados, las cuales son transitadas solamente por los habitantes de la cuadra.	2
0-20	Vías en pésimo estado , en las cuales el pavimento se desintegra en varios puntos, las cuales se utilizan no para el tráfico sino para espacio de parqueo de algunos vehículos.	1

Fuente: Autor

El promedio general del estado de servicio es de 85,13, por lo que se halla en el rango aceptable del servicio y el funcionamiento de los tramos. Sin embargo, este valor se debe comparar con los valores de tendencia central de la muestra.

Tabla 15. Medidas de tendencia central de la muestra.

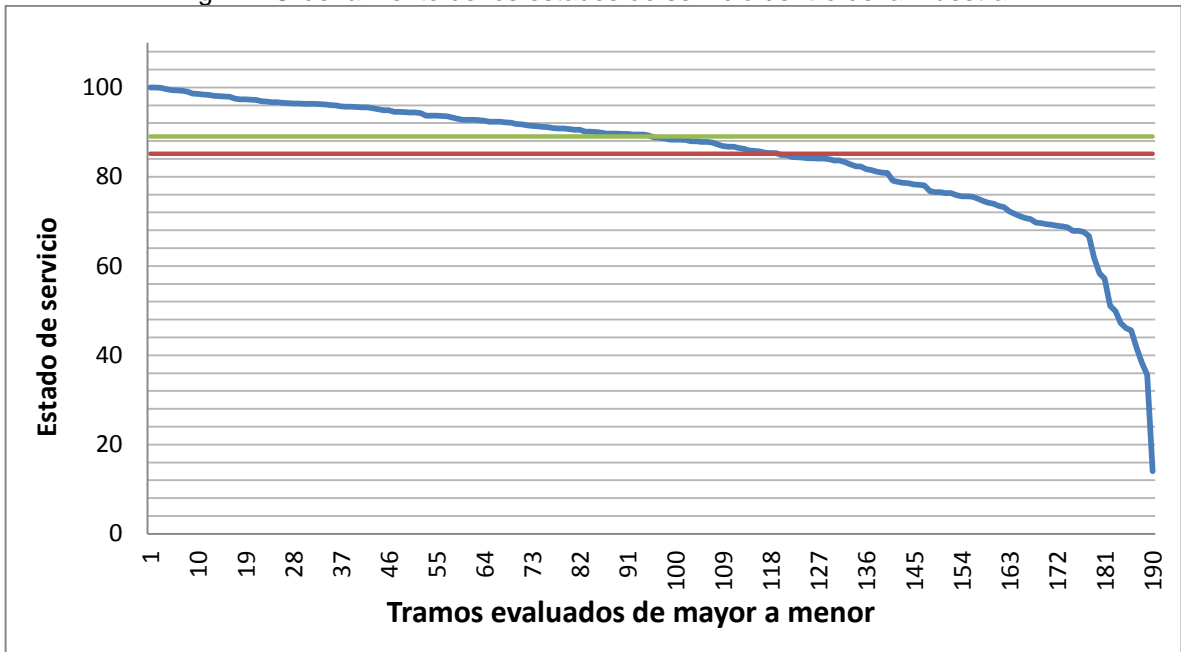
PROMEDIO	85,13
MEDIANA	89,01
MEDIA	84,96
DESV. ESTANDAR	13,72

Fuente: Autor

Se observa que el estado promedio difiere mucho de la mediana, siendo inferior a esta, por lo que hay mayor cantidad de datos tomados por encima de los promedios, tanto ponderado global, como el promedio aritmético o media de la muestra. En otras palabras, la mayoría de los tramos se encuentran por encima del promedio del estado de servicio. En términos exactos, de los 190 tramos evaluados, 119 se hallan sobre el promedio, equivalentes al 62,63% de la muestra.

Si se ordenaran de mayor a menor los datos de estado de servicio, la figura 10 muestra un decrecimiento uniforme del valor (línea azul), que se compara con el estado promedio (línea roja) y la mediana (línea verde). El decrecimiento uniforme va hasta el valor medio, luego decrece un poco más rápido; y a partir de un 93% de la muestra comienza a haber una gran dispersión de datos atípicos hasta llegar al valor mínimo. Esto indica que a partir de un estado de servicio mayor a 70 es más probable encontrar tramos con esta cantidad de daño; y los tramos con estados inferiores, tienen menos del 10% de probabilidad de ser encontrados dentro de la malla vial, aquellos considerados como en mal estado, los cuales han sido descuidados con el paso del tiempo, y son el foco de la gran evolución del daño.

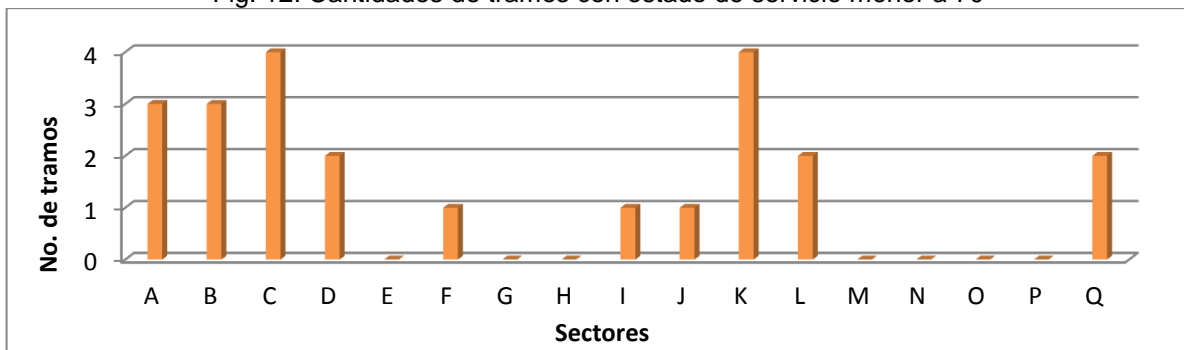
Fig. 11: Ordenamiento de los estados de servicio dentro de la muestra.



Fuente: Autor

Para una mejor comprensión de la parte de la muestra con un E.S. inferior a 70, que se considera dispersa, la figura 11 muestra los sectores a los que les pertenecen estos tramos. Los sectores C y K son los más afectados, después de los sectores A y B; esto se debe a que precisamente estos sectores son los que más poseen tramos de pavimento rígido, que aunque sea más resistente, es un material que en estos sectores no recibe mantenimientos frecuentes, y es un tipo de pavimento usado generalmente en vías terciarias, en localidades de estratos medios bajos donde no hay desarrollo urbanístico ni comercial.

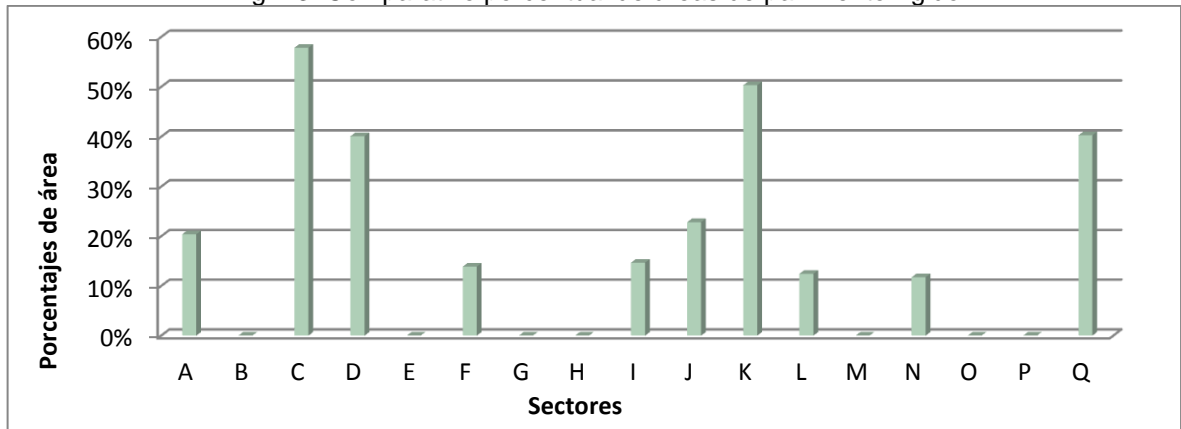
Fig. 12: Cantidades de tramos con estado de servicio menor a 70



Fuente: Autor

Para consolidar esta versión, vale la pena observar la figura 12. El único sector que difiere entre las gráficas es el sector B, que en sus usos y actividades es similar a los demás, presentando de igual manera afectaciones a falta de gestión de infraestructura.

Fig. 13: Comparativo porcentual de áreas de pavimento rígido

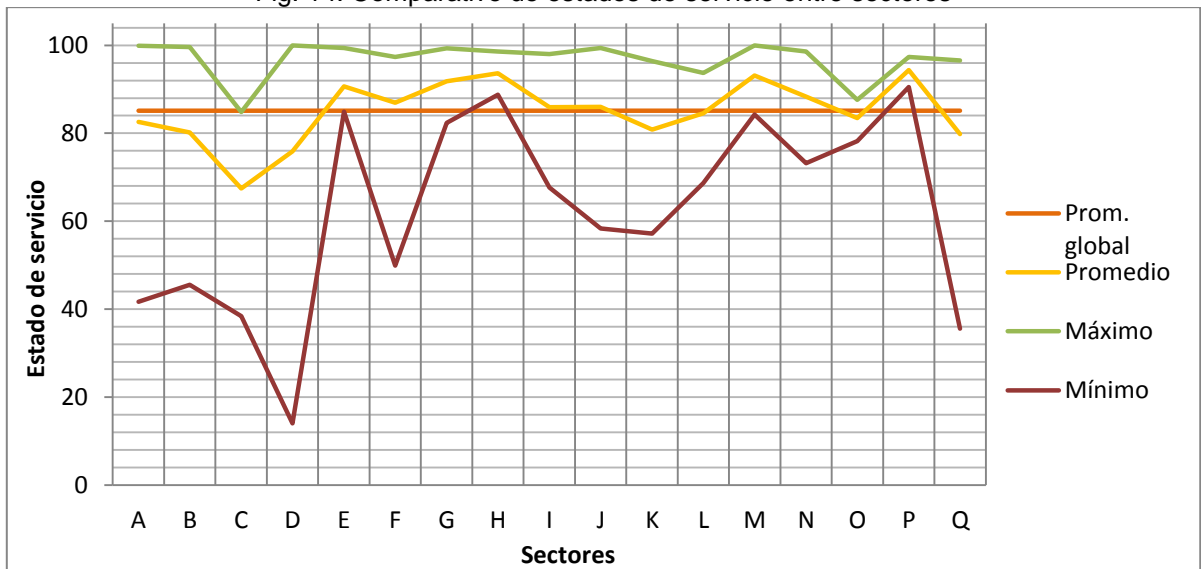


Fuente: Autor

7.1.2 Comparativo de estados de servicio, máximos, mínimos y promedios

Uno de los indicadores de la poca gestión en algunos sectores es la dispersión de los estados de servicio máximos y mínimos con respecto al promedio, y las diferencias entre los valores extremos por sector, que ilustran una gestión bastante parcial, en la que se le da mucha importancia a algunos tramos con respecto a otros. La figura 13 tiene en cuenta los estados máximos, mínimos y promedios por sector, y una línea horizontal que representa el promedio global.

Fig. 14: Comparativo de estados de servicio entre sectores



Fuente: Autor

A partir de la figura 13 se observa que los sectores A, B, C, D, F, J, K y Q son los de más diferencia de extremos, siendo precisamente aquellos sectores localizados en partes suroccidentales, de mayores pendientes, de estratos medios bajos, en donde se da importancia y mantenimiento exclusivo a las vías principales y

arteriales, de mayor uso y frecuencia por el tráfico. La diferencia más drástica se halla en el sector D, con la vía más deteriorada de la muestra global, pero no es un sector del todo mal gestionado, pues posee un estado promedio de más de 75, clasificado como regular.

El sector E tiene un relativo alto desempeño en servicio respecto a sus sectores vecinos, pues comprende la parte central de la ciudad, a pesar de la alta congestión de vehículos, causada no por el daño, sino por la angostura de las vías, las paradas para peatones, parqueaderos, e incluso una ineficacia de rutas de flujo para esta parte de la malla vial.

El sector más afectado es el C, pues posee los 3 valores debajo del promedio global; le sigue el sector O en donde sus cinco segmentos poseen daños generalizados, y no hay uno que represente un estado de servicio bien alto. Sin embargo, la mayoría de la avenida universitaria posee un buen aspecto a simple vista, solo que el tramo seleccionado corresponde con una de las porciones deterioradas en dicha avenida.

Los mejores sectores son el sector H y el sector P por sus valores sobre el promedio, pero es una afirmación discutible por la cantidad tan pequeña de tramos estudiados, y son sectores que están en proceso de urbanización, ya que en general, actualmente hay abundantes trochas.

7.1.3 Descripción de los resultados relacionados con los tipos de pavimento

La figura 12, de porcentajes de pavimento rígido por sector, resaltaba precisamente los bajos estados de servicio concordantes de los sectores más afectados. Además, cabe analizar la presencia global de los tipos de pavimento convencionales a través de la tabla 16.

Tabla 16. Porcentajes de área de tipos de pavimento.

MATERIAL	AREA (m ²)	PORCENT.
FLEXIBLE	89428,33	71,38%
RIGIDO	21986,57	17,55%
ARTICULADO	5649,78	4,51%
TROCHA	8213,84	6,56%
TOTAL	125278,5196	100,00%

Fuente: Autor

Los pavimentos rígidos no superan el 20%, ya que son muy utilizados en sectores de estratos medios bajos en los cuales la pendiente es alta, la cual dificulta la construcción de capas flexibles, por lo que es más rentable construir pavimentos rígidos en estas condiciones topográficas.

Los pavimentos articulados no superan el 5% de la muestra global, pues son poco convencionales, y usados exclusivamente en zonas residenciales y suburbios de

estrato alto, como en el barrio Las Quintas en el sector M, pues son de usos frecuentes de tráfico liviano, y poco frecuentes para tráfico pesado.

Sin embargo las áreas de trocha representan un 6,56% de la muestra, esto implica que en muchos de los sectores pueden encontrarse ciertos tramos sin pavimentar. Por otra parte, las trochas suelen hallarse en partes remotas de los sectores, colindantes con los sectores rurales y veredas, algo normal para una ciudad en proceso de expansión urbanística. Es necesario también decir que algunas trochas actuales, a nivel de la ciudad han sido producto de tramos pavimentados que con el tiempo se desintegraron, se abandonaron y perdieron su capa de rodadura.

Otro aspecto a considerar es el estado de servicio promedio según el material, que una vez más resalta que los pavimentos rígidos son los que presentan el foco de altas tasas de daño. Tiene un E.S. de 70,29, punto a partir del cual cambia la dispersión del ordenamiento de los datos, y bajo este valor las vías se clasifican como de mal estado. Los pavimentos articulados presentan el mayor estado de servicio en promedio, debido a que la mayoría de estos tramos son de mayores dimensiones, luego tienen más capacidad de daño, y además, son tramos de uso vehicular doméstico, construidos recientemente y en sectores planos.

7.1.4 Indicadores de gestión de la malla vial

7.1.4.1 Factor de cobertura

Cada estado de servicio promedio se multiplica por el porcentaje de área pavimentada de las muestras, denominado factor de cobertura. La figura 14 muestra los promedios y sus reducciones respecto a la abundancia de las trochas dentro de la muestra.

Fig. 15: E.S. promedios afectados por factores de cobertura



Fuente: Autor

La diferencia más drástica se muestra en el sector G, pese a su alto estado de servicio, es un sector con una gran abundancia de trochas, pues se encuentra en vías de desarrollo en el uso residencial, para estrato bajo y vivienda de interés social, las cuales tienen tramos de pavimento de los últimos años. Algo similar ocurre en el sector P, un sector nuevo para la ciudad, con trochas abundantes, y obviamente de uso residencial y doméstico en términos del tráfico.

Otros puntos más bajos (sectores A, C y J) corresponden a sectores que comunican las salidas rurales de las partes altas de la ciudad. Los demás sectores tienen reducciones mínimas como efectos de algunos tramos remotos que más adelante pueden pavimentarse.

De acuerdo al factor de cobertura, los sectores sobresalientes son el E y el M; el sector E del centro histórico, por una malla vial cubierta completamente desde siempre, y una gestión moderada en los últimos años; y el sector M que desde luego es una zona muy activa comercialmente y atrayente para Tunja, que requiere de una buena diligencia en la calidad de las vías, siendo uno de los sectores que más contribuyen económicamente al presupuesto municipal.

7.1.4.2 Reparcheo

Dentro de los casos patológicos relevantes, el INVIAS en la guía de inspección considera el registro de los parches sobre las vías, pues indican que ahí alguna vez hubo alguna falla seria, y las severidades en el estado de los parches indican su proceso de deterioro.

Como indicador de gestión, se tiene en cuenta el reparcheo como porcentaje de la suma de todos los parches, y los demás casos de severidades, media, alta y especial; y de la cantidad de parches registrados, se sacan los porcentajes por severidades. El reparcheo es analizado únicamente en el material de asfalto y en los pavimentos rígidos y mixtos.

Tabla 17. Tasa global de reparcheo.

	PCH BAJO	MEDIO	ALTO	ESPECIAL
FLEXIBLE	746	3087	1193	124
RÍGIDO		818	1501	62
MIXTO		204	58	0
TOTAL		4109	2752	186
GRAN TOTAL	7793			
PARCHES	2058			
TASA REPARCHEO	26,41%			

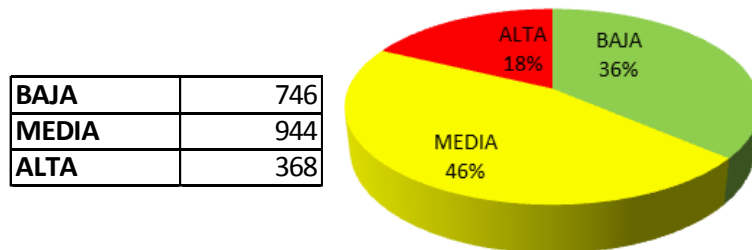
Fuente: Autor

La anterior tabla resume que el 26,4% de los casos patológicos dentro de las severidades a reparar, son de parches, indicando que a lo largo de la historia de

estos tramos, se ha hecho gestión para la reparación de este porcentaje de casos. Empero, aunque todos los parches estuviesen en buenas condiciones, es una tasa insuficiente desde el punto de vista de la gestión a lo largo del tiempo. El reparcho es una alternativa de reparaciones temporales que amortigua inversiones y costos, comparada con rehabilitaciones de vías en las que se tiene que reconstruir, y es algo que poco se pone en práctica y es esporádico durante la vida útil de las vías.

Dentro de esta tasa de reparcho a nivel global, se hace una evaluación interna de las severidades de los casos.

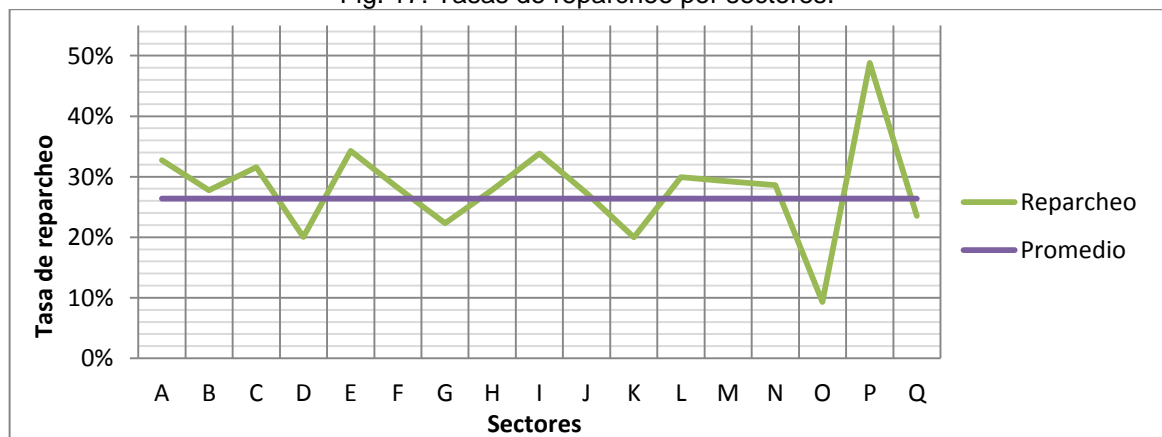
Fig. 16: Evolución global de severidades de parches



Fuente: Autor

La figura 15 muestra este 26,4% de los casos, subdividido en porcentajes por severidad, observando que en general el estado de los parches se encuentra en una transición entre el buen estado de los parches, al estado intermedio, siendo una transición por acabarse y pasar a severidades más altas. En términos de servicio, el balance puede ser positivo, pero en la parte del cuidado de la malla vial es señal de que las cuantías de daño comienzan a perder importancia. La tasa de reparcho también es comparada a nivel de sectores, en la figura 16:

Fig. 17: Tasas de reparcho por sectores.



Fuente: Autor

Los sectores D, G, K y Q tienen reparcho debajo del promedio, pero no tan drástico como en el sector O, indicando que a nivel de este sector ya se hace muy necesaria la reparación de esta parte de la avenida universitaria. El sector P,

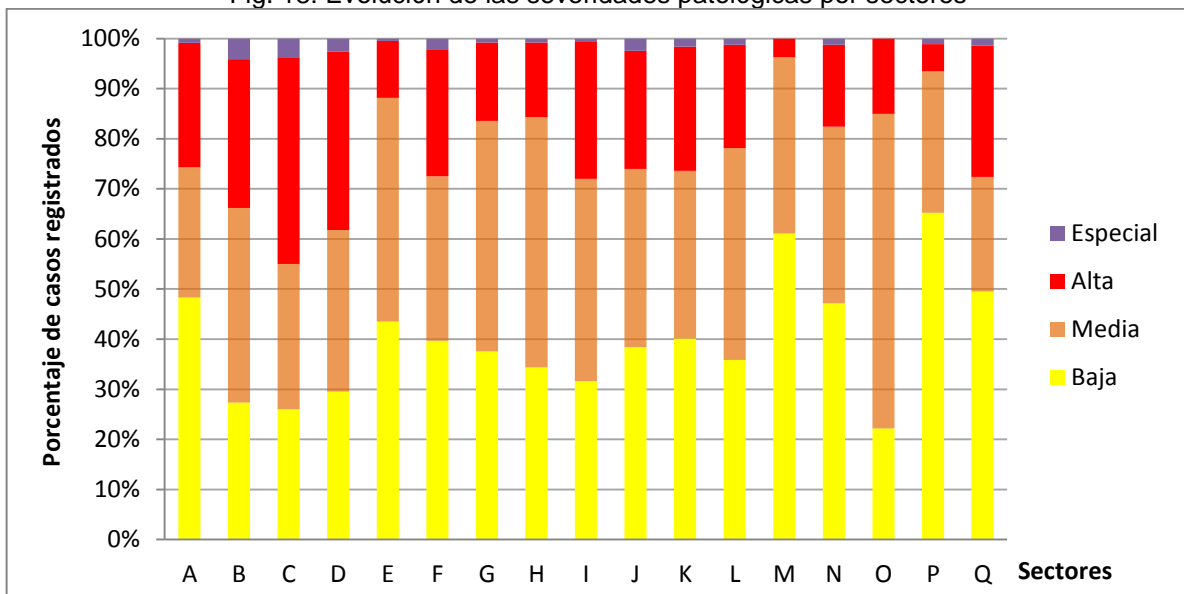
además de tener tramos en buen estado, son tramos que han tenido reparaciones desde su construcción, en una tasa alta, mucho mayor que la de los sectores E e I, pertenecientes al centro de la ciudad en donde hay arreglos de vez en cuando, para fines de mitigar los embotellamientos y otras dificultades en el flujo vehicular.

7.1.4.3 Evolución de las severidades patológicas

Otro indicador que describe la diligencia de la malla vial es la evolución de los casos registrados de acuerdo a la severidad, en donde se observan las tendencias de cada sector en las severidades más frecuentes.

Para ello, se hallan los porcentajes de los casos por sector, con las sumatorias de los casos por separado, pero no se toman los parches en buen estado o de baja severidad, ya que este es un indicador de evolución de los daños exclusivamente.

Fig. 18: Evolución de las severidades patológicas por sectores



Fuente: Autor

Con base en la figura 17, el sector C posee la mayor evolución de los daños, con severidades altas y especiales superiores al 40%, indicando cierta falta de mantenimiento a pesar de que el reparcho se encuentre sobre el promedio. El segundo sector de mayor tasa de daños severos es el sector D (38%), con una gestión mucho menor por la baja tasa de reparchos, y por la gran parcialidad entre estados de servicio.

Los sectores en transición de daños (sectores E, G, H, L y O) son los que tienen mayor tasa de severidades medias. Estos difieren en tasas de reparcho, pues sus tasas de casos severos son menores, de menos del 20%, sugiriendo que los casos intermedios son menos reparados que los casos más severos.

Sin embargo, el sector O tiene la mayor tasa intermedia de daño y la menor tasa de reparacheo, asegurando que los daños en este tramo continuo son uniformes pero que se han tomado muy pocas medidas en la reparación de estos daños; por otro lado, el sector O posee pocos casos severos (15%), lo cual puede justificar que aún no es el momento de comenzar a reparar estos daños.

Los sectores con mayor predominio de los casos bajos son los sectores A, M y P, que en términos de servicio y gestión están en un buen nivel. El sector M posee una gran tasa de severidad baja, porque tiene una representación de pavimentos articulados, que fácilmente suelen presentar daños leves, y que después tardan bastante en evolucionar.

Los casos patológicos bajos no son para nada un indicador de poca diligencia en reparaciones, pero pueden llegar a ser una señal de defectos constructivos en los tramos, defectos por la calidad de los materiales y de la mano de obra, y es por ello que a continuación se habla del indicador de los tipos de patología más frecuentes a nivel global y a nivel de cada sector.

7.1.4.4 Tipos de daños más frecuentes a nivel general

- Pavimento flexible

Las fisuras en bloque conforman un 23% de la totalidad de los casos contados, y son los casos más frecuentes, esto indica que las causas principales de las fallas en estos pavimentos se relacionan con el endurecimiento de la mezcla asfáltica, generado por bajas temperaturas, e incluso los cambios abruptos de temperatura. Sin embargo, otras causas adicionales, pero secundarias, se relacionan con la calidad de los agregados tanto en la mezcla como en las capas granulares.

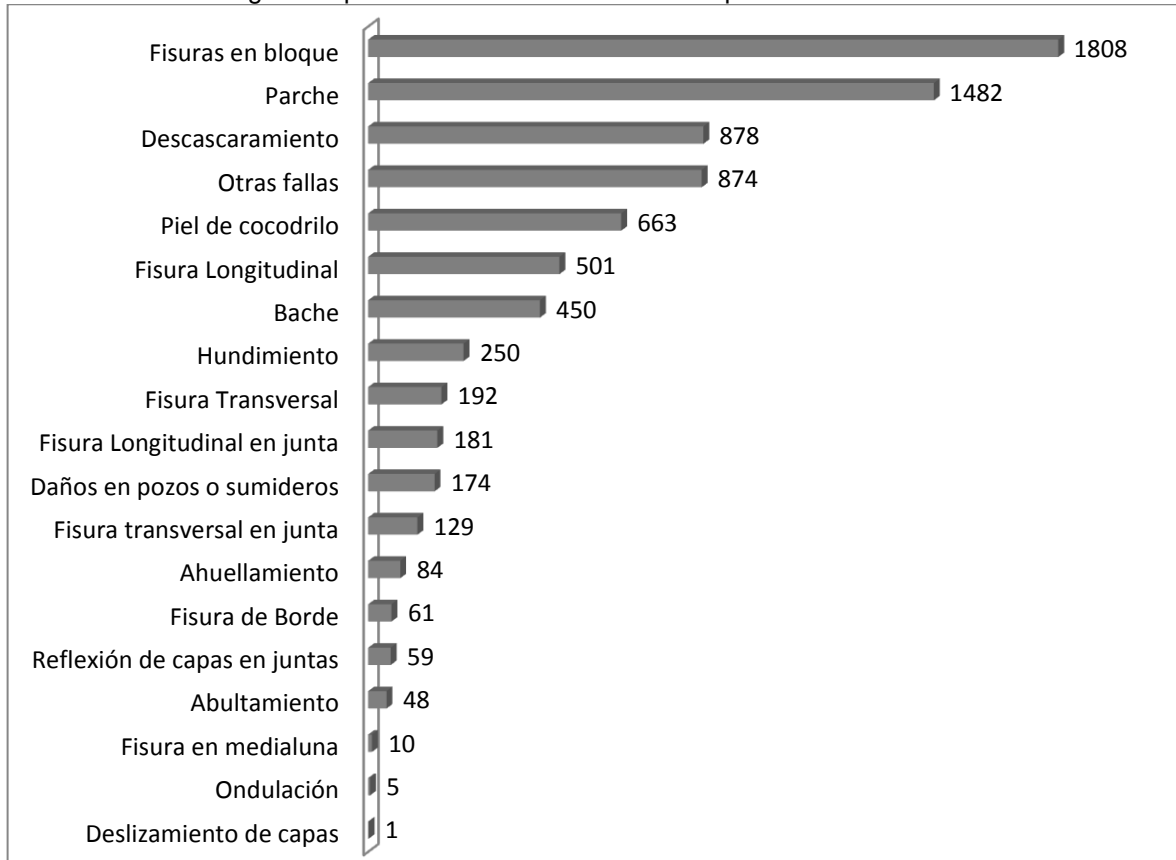
Aquí fueron hallados 1482 parches (ver figura 18), como el segundo tipo más abundante, que concuerda y corresponde con los tipos de falla más comunes que se suelen reparar mediante parches, como la fisura en bloque, en piel de cocodrilo, descascaramientos y baches.

Los descascaramientos indican que los pavimentos fueron construidos con una capa asfáltica reducida, que han tenido tratamientos superficiales o parches mal ejecutados, y/o que están hechos de una mezcla de asfalto bastante permeable. Esto sugiere que es un síntoma principal de falta de rigor en el diseño y en la construcción, aparte de las causas principales de falla.

Las fallas clasificadas como *otras* son una amplia gama de casos de bajas severidades, que por lo general pueden ser despreciadas de acuerdo a la reducción en el desempeño de las vías. Las fisuras del orden de 15 cm, focos de vegetación, huellas de neumáticos en asfalto fresco y cortes de disco para instalaciones de servicios públicos son los más frecuentes en este grupo; pero la

cantidad es grande porque es una categoría de mucha variedad de casos raros y fortuitos, que no dejan de tener una esencia patológica dentro del pavimento.

Fig. 19: Tipos de daño más frecuentes en pavimentos flexibles



Fuente: Autor

La piel de cocodrilo se ubica en el quinto lugar con 663 casos (8,4%), y no deja de ser importante ya que para algunos autores, es la señal que indica que los pavimentos han llegado al estado límite de servicio pasando por la vida útil prevista.

Las fallas un poco menos comunes como las fisuras simples, hundimientos y baches, debido a su cantidad y su frecuencia, se consideran síntomas complementarios, pues son casos de frecuencias intermedias, por causas comunes a las causas de las fallas principales; unos son casos aislados y de primera generación en el ciclo de los daños en el pavimento flexible, y otros tipos son consecuentes, como los baches causados por desprendimientos, que si no son tratados a tiempo, pueden expandirse y empeorar, llegando a ser casos especiales.

La patología menos frecuente comprende deslizamientos de capas, abultamientos y ondulaciones, como casos de deformaciones en la carpeta asfáltica, ya que son casos mayormente encontrados en climas cálidos en donde el calor provoca expansiones y contracciones del asfalto sin señales de fatiga. Las fisuras en

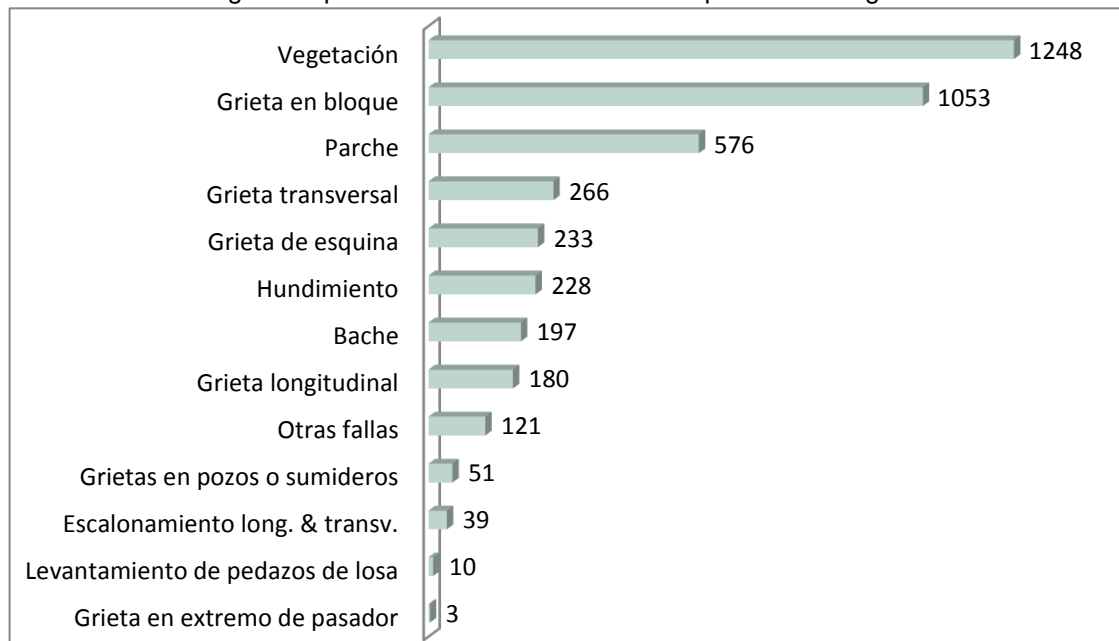
medialuna son extrañas, pues se encuentran más que nada en carretera y pocas veces en mallas urbanas, como indicadores iniciales de desbanco en curvas, terraplenes y taludes.

- Pavimento rígido

Para estos pavimentos, los dos tipos de daño que se imponen son la vegetación y la grieta en bloque, que entre ambos superan el 50% del conteo. Justamente, son los daños que a criterio son registrados con severidades exclusivas por su naturaleza. La vegetación constituye un 29,6% de los casos, y como es de baja severidad es considerada un síntoma consecuente de otras patologías principales, relacionadas con el deterioro de las juntas, por las cuales penetra el agua y aflora pasto, musgo y otras especies menores.

El siguiente 25% es para las grietas en bloque, causadas principalmente por las sobrecargas en las losas, que fatigan el concreto, y la evolución más severa en rupturas. La alta tasa de grietas en bloque es la que mayormente dificulta el funcionamiento de las vías, pues es una patología de la que se derivan otros casos importantes como desportillamientos, vegetación, baches y hundimientos.

Fig. 20: Tipos de daño más frecuentes en pavimentos rígidos



Fuente: Autor

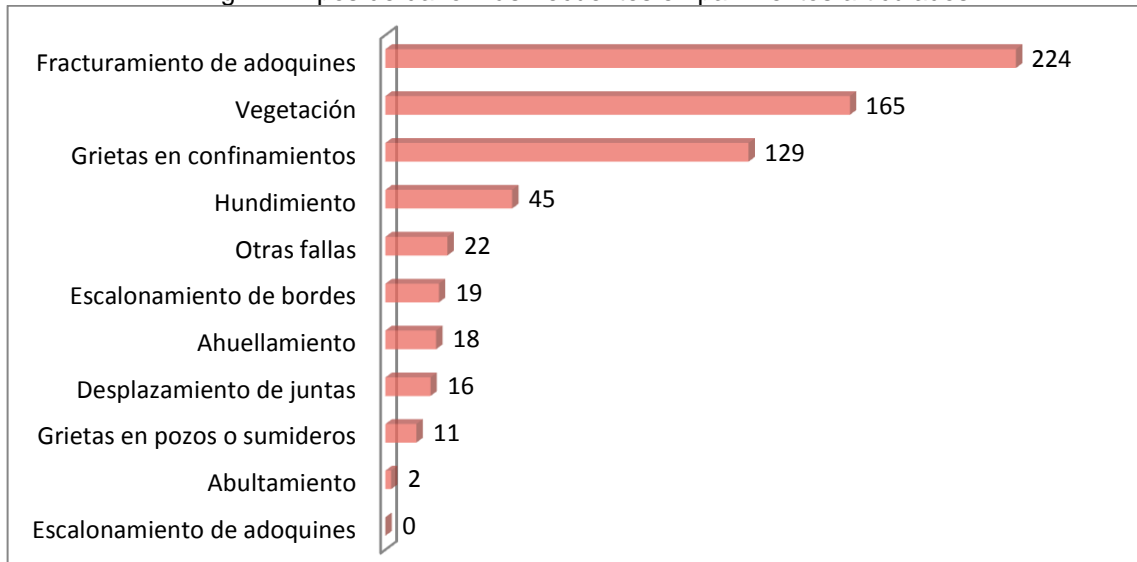
Los parches son los terceros más frecuentes, pero a compararse con la cantidad de grietas en bloque y otras fallas mayores, han sido insuficientes para la reparación de los daños.

Los tipos de grieta simples, baches y hundimientos tienen tasas parejas, y a grandes rasgos tienen las mismas causas, por una carga que excede la capacidad de soporte en el espesor de las losas, es decir, un espesor de losa insuficiente para el servicio.

Los escalonamientos, levantamientos de pedazos de losa y grietas en extremo de pasador, son la patología menos frecuente de la muestra, pues ocurren por fenómenos de causas geotécnicas, como suelos de muy baja calidad y expansivos. Esto implica que la mayor causalidad de la patología en el pavimento rígido es estructural y constructiva, y no por fenómenos geotécnicos.

- Pavimentos articulados

Fig. 21: Tipos de daño más frecuentes en pavimentos articulados



Fuente: Autor

Los pavimentos articulados tienen un comportamiento similar, en cuanto a la formación de vegetación dentro de juntas y uniones del adoquinado. Asimismo los tipos de falla principales son el fracturamiento de adoquines y las grietas en los confinamientos, hechos de concreto; la causa de estos daños es en primera instancia fatiga por cargas de vehículos y ciclos de descargue.

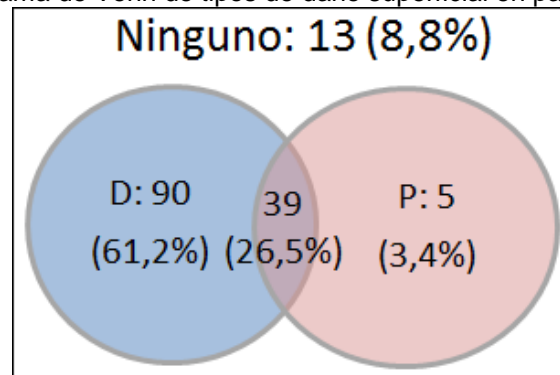
Este tipo de casos indica que hay que cambiar algunos adoquines y realizar limpieza, pero teniendo en cuenta los estados de servicio, son recomendaciones a tener en cuenta mucho después. Tipos complementarios de falla como hundimientos, abultamientos y escalonamientos son más dependientes de la calidad del suelo de fundación en este material. A nivel general es una tasa normal de casos registrados en tan solo 11 tramos de pavimento articulado, con un promedio de 59 casos totales por tramo, que pueden ser aceptables para el funcionamiento de los tramos.

7.1.4.5 Presencia de daño superficial

El daño superficial, distinguido por ser la consecuencia de malos materiales, dosificaciones y proceso de construcción, es un indicador que destaca los tipos de daño superficial más frecuentes dentro de la muestra. La presencia de daños superficiales se hace por cantidad de tramos que posean una o varias alteraciones respecto al total de los tramos, por cada agrupación según el material. Para ello se cuenta con un diagrama de Venn (Figura 21) y la tabla 18.

- Pavimento flexible

Fig. 22: Diagrama de Venn de tipos de daño superficial en pavimento flexible



Fuente: Autor

Tabla 18: Conteo de daño superficial en el pavimento flexible.

CONTEO	D	P	Promedio de cobertura		73,8%
Un caso	129	44	Severidad	Desgaste	Pérdida
Dos casos	39		BAJA	67	28
Sin daño	13		MEDIA	52	13
TOTAL	147		ALTA	10	3

Fuente: Autor

De los 147 tramos de este material, 90 tienen solamente desgaste superficial, y tan solo 5 tienen únicamente pérdida de agregado, y un 26,5% posee los dos tipos de daño, una porción de la muestra en la que el asfalto tiene malas dosificaciones, para llegar a poseer tipos cuyas causas difieren por la preparación de la mezcla. Por otro lado, sea cual sea el caso, las proporciones de las severidades varían muy poco, y a lo sumo 10 tramos poseen daños evolucionados. Esto indica que el daño superficial en los pavimentos flexibles no es tan significativo como para darlo como indicador de mala calidad; aun así, hay tramos cuyo asfalto tuvo fabricaciones y aplicaciones irregulares, y también algunos otros sin daño superficial, que obviamente son tramos recién pavimentados.

Además, una cobertura promedio del 74% indica que el daño superficial es muy evidente pero de acuerdo a la edad que poseen los pavimentos, ya que hay

algunos de edades recientes que aún no manifiestan estos daños, y otros con porciones pavimentadas más antiguas que otras.

- Presencia del daño superficial en los pavimentos rígidos

Tabla 19. Conteo de daño superficial en el pavimento rígido

CONTEO POR SEVERIDAD						CANTIDADES	
Severidad	DI	DE	SJ	DS	DP	Sin daño	
Baja	12	13	5	Prom	18	1 tipo	0
Media	11	14	5	0,62	14	2 tipos	6
Alta	14	5	0		5	3 tipos	4
TOTAL	37	32	10	41	37	4 tipos	22
Prom. Cobertura	74,8%					5 tipos	9
						Total	42

Fuente: Autor

La muestra tomada de pavimento rígido es de 42 tramos, en los cuales es evidente la desintegración (DI), el descascaramiento (DE), el desportillamiento (DP) y en mayor medida el deterioro del sello (DS), como el tipo de daño más responsable de los síntomas elevados de vegetación en juntas. Los primeros tres tipos de daño tienen similitudes por las causas, sobre la calidad de la mezcla de concreto, que implica dosificación, procedencia de los agregados y curado, como los principales defectos constructivos.

La severidad más alta se destaca en la desintegración, como un problema muy común en la superficie del concreto, y es un daño que suele causar incomodidades en los conductores. Las otras dos severidades son parejas en todos los casos, por lo que el daño superficial es transitorio entre la baja y la media severidad. El sello tiene un deterioro promedio del 62%, considerado de alta severidad para la norma, y es el problema que más debe subsanarse ya que es el talón de Aquiles del desempeño de este tipo de pavimentos.

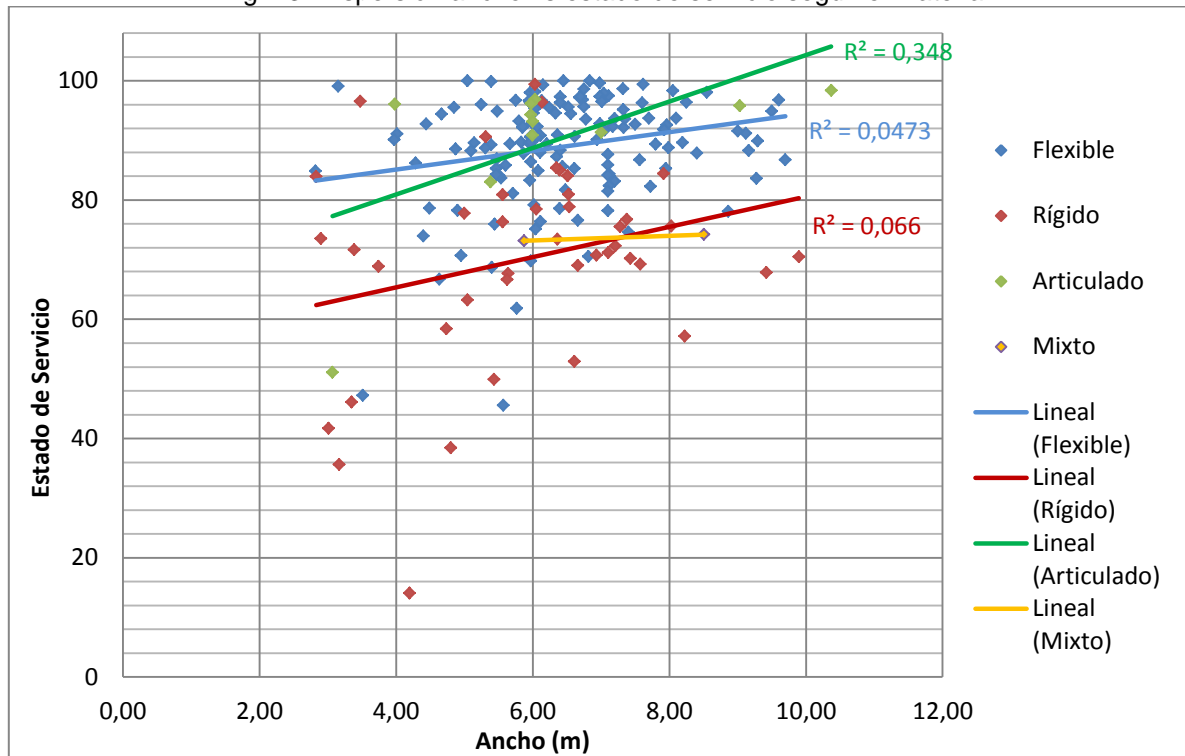
Este material tiene gran variedad de daños superficiales, generados por causas propias, pero más del 75% del conteo tiene al menos 4 tipos de daño, por lo que el pavimento rígido suele tener deterioros simultáneos, independientemente de las causas principales de daño.

7.1.5 Análisis de la hipótesis de investigación

La hipótesis planteada al comienzo se refiere a la estrecha relación entre el estado de servicio de los tramos, y el ancho de los mismos, que sugiere que a mayor ancho, es mayor el estado de servicio, dado que la ecuación del estado de servicio depende del área, y una mayor área alberga más daño.

Por otra parte, a menor ancho, el estado de servicio es mucho menor, no solamente por la poca capacidad de los daños, también por la poca atención prestada a los tramos de anchos cortos, por ser vías terciarias, y desde luego por los diseños ineficaces hechos en estos tramos. Para poner a discusión esta teoría, se toman todos los tramos pavimentados de la muestra, y se grafican en función de sus propios anchos en una nube de puntos.

Fig. 23: Dispersión ancho vs estado de servicio según el material

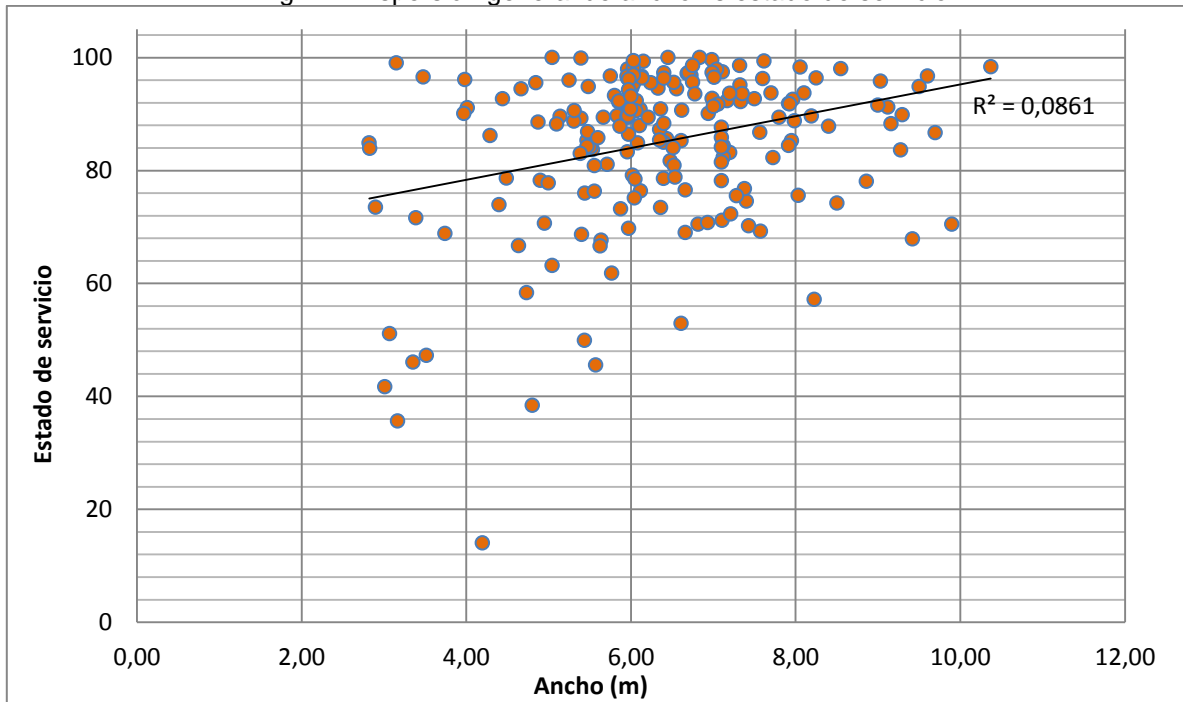


Fuente: Autor

Las dispersiones de la figura 22 se hacen por separado, según el material, y todas muestran una línea de tendencia creciente, sin embargo, unas líneas son más crecientes que otras, y la pendiente más pronunciada es la de los pavimentos articulados. El pavimento flexible, de mayor muestra, presenta un crecimiento un poco menor que el del pavimento rígido, y gran parte de los puntos azules se concentra entre los 6 y los 7 metros de ancho, mientras que los puntos rojos son más dispersos y aun así se conserva la tendencia positiva.

Para una comprensión más general del estudio, se hace la nube de puntos, con una sola agrupación de datos con su línea de tendencia, ya que la metodología se basa en la capacidad de daños por área, inherente al tipo de pavimento.

Fig. 24: Dispersión general de ancho vs estado de servicio



Fuente: Autor

A nivel general, la tendencia sigue siendo positiva, pero la pendiente es menor que la pendiente de los puntos en el pavimento articulado, que es la más alta. Por otra parte, el coeficiente R^2 es mayor que los coeficientes en los materiales rígido y flexible. La pendiente y el coeficiente R^2 pueden ser indicadores de qué tan estrecha es la relación entre el ancho de la vía y su estado de servicio; y se observa que el estado de servicio sí es proporcional al ancho, confirmando ciertos aspectos hipotéticos, pues el mayor ancho (10,37 m) se encuentra con un estado de 98,38, el menor ancho de todos (2,82 m) con un estado de 84,87, y el menor estado de servicio (14,04) se halla entre los anchos más bajos.

La hipótesis no puede confirmarse completamente, ya que el ancho de la vía no incide completamente en el estado de servicio, dada la intervención de otras variables como el material del pavimento, el proceso constructivo, la categoría del tramo, la gestión de mantenimientos en el tramo e incluso los sectores donde se localicen los tramos. El ancho es un buen punto de partida para tratar de explicar el descuido en mantenimiento y arreglo de las vías, pues una vía angosta tiende a ser descuidada, y una vía ancha tiende a durar más, a ser más concurrida, y desde luego tiende a tener mayores arreglos. No obstante, estas variables adicionales no son tan fuertes como para refutar la hipótesis.

7.2 ANÁLISIS POR SECTORES

Este análisis es exclusivamente cualitativo, en donde por cada sector se identifican las causas particulares de la presencia de daños por tipo, con base en la tabla 41.

- **Sector A**

En el sector A se identifican tramos en los que alguna vez se hicieron numerosas reparaciones, para el pavimento flexible, pero en el pavimento rígido hay una tasa muy baja de parches. El problema principal en este sector es el proceso constructivo utilizado en ambos tipos de pavimento, de los cuales surge la proliferación de descascaramiento en las capas de rodadura, y el crecimiento de vegetación en las juntas.

Las fisuras en bloque, en el asfalto aportan un 11,6% de los daños, son aportadas principalmente por el tramo A250 de la plaza del sur por la que transitan muchos vehículos pesados a diario. Estos y otros daños serios son aportados principalmente en el barrio San Francisco donde se presentan conflictos de uso doméstico y comercial mayoritario.

- **Sector B**

A pesar de la alta tasa de reparacheo, es un sector altamente lesionado por patología severa, pues el caso más presentado es el bache, un poco más que los descascaramientos y fisuras en bloque. Los baches fueron mayormente encontrados en los tramos B231 y B415 (Hunza y Cooservicios respectivamente) este último es un tramo de bastante uso por el transporte público de pasajeros, y con muy poco reparacheo. Cabe mencionar que la tasa de “otras fallas” es considerable, pues muchas de ellas corresponden a tratamientos superficiales con mortero, hechos por los vecinos, con el fin de evitar infiltraciones y más grietas.

Es un sector con una alta variedad de tipos de patología por la evolución constante de los daños, poca gestión en algunos tramos, y los casos menos frecuentes ocupan el 8,54% del conteo, comparados con el 6,94% en el sector A para pavimentos flexibles.

- **Sector C**

La mayor presencia de los daños se encuentra en los pavimentos flexibles, con 127 casos de grieta en bloque comparados con 48 parches y 35 fisuras en bloque. Esto indica que este sector tiene un buen desempeño en el material del asfalto, al presentar poco daño, y que este poco daño corresponde a casos provenientes del ciclo natural del pavimento durante su servicio. Sin embargo, la muestra de pavimento flexible es muy pequeña.

Las causas de daño de este sector en pavimento rígido tienen congruencia con los casos más comunes a nivel global, salvo en la vegetación (14%), manifestada en solo dos de los tramos. El escalonamiento, de los casos más raros, es aportado por el tramo C63 del barrio Obrero y otros dos tramos, y se genera por exceso de depresiones y asentamientos en las partes de mayor pendiente. Las pendientes

altas favorecen la escorrentía del agua, reduciendo las posibilidades de que se presenten casos de vegetación.

- **Sector D**

Siendo más los tramos de pavimento flexible que de rígido, los daños más serios son más frecuentes en los tramos de concreto. De hecho, el sector D posee el tramo más dañado de la muestra general (D36) localizado en el barrio Suárez, con 145 casos de pavimento rígido, los cuales aportan bastante al registro del sector. Más del 50% de la vegetación fue aportada por este tramo, y el resto por varios tramos de mucha más extensión; este tramo tan sólo tiene 9 parches, pero en mal estado, y la mayoría del reparcho es aportado por el tramo D202 (Las Américas) solo que no es de reparación de daños sino para servicios públicos.

Para los pavimentos flexibles, la patología sugiere que estos tramos han tenido daños generalizados, por ciclo natural de servicio. 4 de los 6 tramos tienen variedad de daños; otro tramo es una porción muy corta, y otro es una vía recién pavimentada de la avenida Colón. Este es uno de los sectores que muestra que solo hay arreglos para vías principales, mientras que las vías de vecindario se han alterado con el paso del tiempo, pero con ritmos disparejos que dependen de la calidad constructiva y del uso frecuente de las mismas.

- **Sector E**

El sector E es un sector ejemplar con relación a los casos más frecuentes en el estudio global, con fisuras en bloque que encabezan la lista, al igual que los descascamientos, ambos tipos formados por bajos espesores del asfalto. Desde luego han tenido reparaciones mediante parches, para lograr responder a las necesidades del uso del sector, del tráfico constante en el transporte público y la movilidad en torno a un sector destinado a actividades comerciales e institucionales. Sin embargo, la movilidad es afectada no por daños sino por la angostura de las calles, las rutas de movilidad y la concentración de peatones y vendedores ambulantes.

La porción de tramo que representa el articulado es el E22 en el Paredón de los Mártires, con problemas de desplazamiento de las líneas y vetas de los adoquines, pero de bajas y medianas severidades, y que se utiliza básicamente como zona de parqueo para usuarios que laboran en el centro histórico de la ciudad.

- **Sector F**

Es un sector de varios usos, desde residencial hasta institucional, del cual se puede observar que tiene tramos con diferentes comportamientos, dependiendo de su localización. El tramo F8 es de la avenida oriental, con daños insignificantes; los

tramos F15 y F185 del sur del sector, en uso residencial, que aportan como otras fallas los tratamientos superficiales de mortero y pequeñas fisuras.

El F149 del centro histórico, con un gran caudal de vehículos, tiene mucha variedad de casos, pero aun así presta un buen servicio gracias al reparcho generalizado. Los tramos F154 y F177, sobre la misma calle 7, a pesar del conflicto de uso alrededor de ellos, tienen menos daño registrado, y aportan varios tipos de daño uniformemente, aunque estén localizados en uno de los puntos más concurridos por los vehículos en Tunja, el Terminal de Transportes.

El tramo que aporta los mayores daños es el F120 de pavimento rígido, de la calle 21 entre carreras 7 y 8, el cual se conforma de este material por su alta pendiente, y es de poca preferencia por los conductores, precisamente por ser empinada y por la alta tasa de daños (E.S. de 49,89). Este es uno de los pocos tramos que afectan la calidad de vida en el sector, y que debe ser reconstruido cuanto antes.

- **Sectores G y H**

Las fisuras en bloque en el sector G son de una tasa relativa muy alta, tanto que los parches no llegan a la mitad de su cantidad. Son aportadas principalmente por las vías de la calle 15 que comunica al terminal de transporte con la Circunvalar, cuyo tráfico es moderado; y también por el tramo G282 del barrio El Rodeo, que también aporta una buena cantidad de parches. Las fisuras en bloque son la principal afectación patológica en este sector, por pavimentos endurecidos con el tiempo, y usados por cierto tráfico pesado del transporte de agregados y materiales de construcción para nuevas viviendas. Este tráfico pesado es la misma causa del fracturamiento de adoquines, y hundimientos para los tramos articulados existentes.

El sector H tiene fisuras en bloque aportadas principalmente por el tramo H91 de la salida a la Circunvalar, con tráfico moderado, y gran parte de parches provenientes del H43 de Fuente Higuera. A nivel general este sector tiene daños importantes pero no es un sector lesionado en el servicio de los tramos que éste presta. Ha sido un sector con buen desempeño en el estado de las vías aparentemente, ya que es un sector que alberga barrios de estratos bajos en los que hay muchos tramos sin pavimentar.

- **Sector I**

El sector I tiene un comportamiento similar al sector E por ser parte del centro histórico, pero mucha de su patología está representada por los tramos I64 e I82, que hacen parte de la Avenida Colón; entre ambos reúnen 149 de los 174 casos de fisura en bloque, pero menos de la mitad del reparcho del sector. Precisamente son los tramos de la vía más utilizada en el sector I, con flujo de toda clase de vehículos provenientes del centro, norte y sur de Tunja, y que comunica la salida a Villa de Leyva con la Avenida Maldonado y la Avenida Norte, llegando a ser por

ende una vía primaria. Sus estados de servicio de alrededor de 84, los hacen aceptables para estas exigencias del tráfico, pero no se debe subestimar la cantidad de daño que albergan, pues están en un periodo de servicio en el que las severidades de los casos pueden evolucionar rápidamente.

En el pavimento rígido, las grietas en bloque son aportadas por el I65 del parque Santander (CAI de la Policía); este tramo es usado como parqueadero, y ha tenido pocos arreglos al ser una calle ciega que no aporta ningún rol en la movilidad del sector. El tramo I153 del barrio Maldonado registra mucha vegetación, y es un tramo de poco uso, sólo para los residentes, y además tiene una bahía de parqueo.

- **Sector J**

En cuanto a los pavimentos flexibles, hay participación de unos y otros tramos para los tipos de daño más comunes. La fisura en bloque es la más común, aunque haya tramos sin este tipo de daño y con numerosos baches y casos especiales, como el tramo J209 de Altamira, que expone muchos daños serios sin precedentes, causados por deficiencias constructivas muy puntuales, traducidas como grandes baches. Los tramos generalmente tienen tasas de daño similares con los síntomas más comunes como piel de cocodrilo, descascamiento y fisuras simples. A pesar de ser un sector de estrato bajo, aislado y de bajas gestiones, los estados de servicio en este material superan el 90, un indicador positivo para el sector.

Los tres tramos de pavimento rígido, como en todos los sectores son los que dan el mal ejemplo en los daños. Dos de ellos, con estados de servicio de 58 y de 70, aportan más del 90% de los casos patológicos. La vegetación es poco aportada por la alta pendiente de los tramos. Sin embargo, este sector posee el tramo rígido de menor daño en la muestra (J237 de Altamira), un tramo recién construido, que puede marcar un inicio en la gestión de infraestructura del sector en la cual poco a poco se reparan y reconstruyen los tramos más deteriorados.

- **Sector K**

Es un sector que abarca mucho espacio geográfico, desde las partes altas en la Fuente y la vía a Villa de Leyva, hasta la Avenida Maldonado, un sector popular por el rol del uso comercial de pequeña escala y por la concurrencia de rutas vehiculares de transporte público, taxis y busetas. Los pavimentos flexibles se localizan en la periferia del sector, en límites con el sector I, de los que casi todos superan el puntaje de 90 en estado de servicio, excepto el tramo K13, con 9 casos especiales, que es bastante concurrido por vehículos parqueados durante las jornadas laborales, y es un tramo usado para desembotellar en eventos de mucho tráfico en la Avenida Colón, como una ruta alterna. El K32 de tipo mixto tiene un deterioro que lo califica de estado regular, debido a la gran cantidad de descascamiento y grietas sobre las juntas cubiertas de las losas. Es un tramo

muy usado por tráfico pesado, pues ahí se ubica una gasolinera que surte a los salientes de la ciudad y un parqueadero de camiones de acarreo.

En el pavimento rígido, abunda la vegetación pese a la pendiente de estos tramos en la zona interna del sector (Barrios La Fuente y Gaitán), a causa del escaso mantenimiento en las juntas y su sellado. El tramo con más presencia de grietas en bloque es el K175, cuyo estado de 57,17 lo convierte en el más deteriorado del sector, aunque sea de un gran ancho. Usado por algunas rutas de buses y una concurrencia moderada; no posee un gran historial de reparaciones, con sólo 18 parches, de los cuales 12 se encuentran en estado intermedio. Además, en este sector, la grieta transversal es mucho más presente que la longitudinal, indicando que hay una gran tendencia a construirse losas más largas que anchas.

- **Sector L**

Es un sector de predominio residencial e institucional, que como la mayoría, presenta fisuras en bloque como el caso más frecuente, pero se observa que tiene un buen número de parches, que indica que es un sector que tiende a cuidarse a medida que surgen patologías serias. Las “otras fallas” aquí se traducen en tratamientos superficiales de mortero y vegetación en algunos tramos; la vegetación hace parte de este grupo porque es un caso patológico muy fortuito en el pavimento flexible, pero probable en condiciones idóneas de humedad y del suelo, siempre y cuando haya grietas en las que se manifieste.

En el pavimento de concreto, el parche es aportado por los tramos L242 y L252 en Colinas del norte, superando las grietas en bloque, comunes en los mismos dos tramos. El tramo L252 es concurrido moderadamente por las rutas de transporte público y algunas volquetas, ya que es un barrio en proceso de urbanización.

- **Sector M**

El sector M tiene la mayor cantidad de tramos a comparación de todos los sectores. Sin embargo, de estos 24 tramos evaluados, solamente 6 se encuentran por debajo del estado de 90, ubicados en algunas calles del barrio Santa Inés y la Avenida Universitaria, pero no constituyen ningún indicador de deterioros en los que se haya que poner atención para efectos de reparaciones. El daño más manifestado fuera de los casos registrados es superficial, sugiriendo que estos pavimentos tienen un óptimo diseño reflejado en la poca aparición de defectos con el paso del tiempo, pero con un desgaste superficial generalizado, de forma natural.

Fuera de los altos estados de servicio, el daño de los pavimentos articulados se evidencia en fracturamiento de adoquines, vegetación y grietas en confinamientos primordialmente. La vegetación es generada por algunas concentraciones de humedad en la planicie del barrio Las quintas, un barrio propenso a las inundaciones en alguna época antes de la construcción de los diques del río chulo.

Las grietas y fracturas se deben a la concurrencia moderada de rutas de transporte y de volquetas en torno a la construcción de nuevas viviendas.

- **Sector N**

Fuera del común denominador de los sectores de Tunja, este sector se distingue por tener un registro de fisuras en bloque tan bajo que ocupa el quinto lugar. El tramo de pavimento mixto N438 es el responsable de estas variaciones, pues es el principal aportante de descascaramientos y parches, y es un tramo futuramente a reconstruir, ya que el barrio Asís posee tramos similares a este, y algunos ya han sido descapotados. Las otras fallas albergan marcas de la maquinaria sobre el pavimento y fisuras diminutas. No obstante, los pavimentos rígidos conservan el común denominador de las grietas en bloque y de la vegetación, complementados con los síntomas adicionales como las grietas simples.

- **Sector O**

Se compone de un tramo continuo de 500 metros, dividido en 5 tramos, que tienen los mismos daños generalmente. Los 33 parches registrados no indican buena gestión ni acción de cuidado, a lado del 62,97% de las fisuras en bloque. Las otras fallas son usualmente de fisuras diminutas y vegetación sobre algunas grietas. Este panorama es el que indica que los daños en la Avenida Universitaria son generalizados y muy evolucionados.

El rango de estados de servicio de este tramo es de 78,18 a 87,63, por lo que se hace necesario pensar en un mantenimiento con reparacheo. Cabe indicar que entre los 8 casos más presentes, no se registra el bache, implicando que el tramo aún presta un buen servicio, para los vehículos que recorren la zona norte como una de las alternativas de ahorrar tiempo de recorrido.

- **Sector P**

La cantidad de casos más grande por tipo es de tan solo 20 casos, además, estos 20 casos son de parches, seguidos de casos de reflexión de capas en juntas. De estos parches, 16 se encuentran en buen estado, lo cual indica que este sector carece de daños serios y que no tiene ninguna dificultad en el funcionamiento para el tráfico, y es una zona de dominio residencial de estrato alto en la que los daños surgidos son reparados diligentemente. El estado de servicio más bajo es de apenas 91,31.

- **Sector Q**

Los pavimentos flexibles en este último sector presentan una proporción de daños comparable con la de otros sectores, ya que predominan las fisuras de bloque y los parches. Los parches constituyen el 25% de los casos, y más de la mitad de ellos

se encuentran en buenas condiciones. Sin embargo, son aportados por los tramos Q341, Q349 y Q359 de Balcones de Terranova, una zona en el extremo norte del sector, de uso doméstico de estrato alto.

El problema serio del sector no se halla en los pavimentos de asfalto sino en los tramos rígidos. Los 6 tramos de la muestra reúnen 711 casos, mientras que el pavimento flexible registró solamente 332. Las principales vías del sector fueron representadas por los tramos Q116 y Q198, como porciones de la diagonal 66, vía por la cual pasan todos los buses de las rutas de Los Muiscas, y descienden hasta el sector de Medilaser, el barrio el Capitolio y la Universidad de Boyacá. Sufren daños generalmente como fisuras en bloque, fisuras de esquina y transversales, y vegetación invasiva como los síntomas adicionales; tienen estados de servicio regulares y son tramos fundamentales en la movilidad del sector.

El sector Q posee la segunda vía más deteriorada de la muestra, ubicada en la diagonal 66A con transversal 3, aledaña a la iglesia del barrio Muiscas. El tramo Q123 es uno de los tramos que componen la malla vial interna de este barrio, construido con losas de concreto, tan pequeñas que son vulnerables a la deformación por asentamiento, y confinadas con sellos y juntas de mampostería, muy frágil para un pavimento que además de ser rígido se puede denominar “reticulado” por las bajas dimensiones de las losas, rodeadas de juntas de ladrillo, formando una red de losas. El exceso de juntas aumenta las probabilidades de falla por grietas y vegetación. Estas características del tramo, inherentes al poco uso que se le da, han causado la proliferación de daños, tanto así que el tramo llega a ser el segundo con más daño, con un estado de servicio de 35,61.

7.3 DISCUSIÓN

Aquí se hace una discusión sobre la certeza de los resultados y análisis a partir de la toma de los datos, ya que en toda investigación se sabe que una selección inapropiada de la muestra y una toma errónea de datos pueden causar alteraciones en los resultados, tanto que la interpretación de ellos puede ser diferente para el estudio. El estudio patológico destaca varios puntos en los que hay incertidumbre de los resultados en todo el universo, con base en los datos de la muestra.

En la toma de datos interviene un factor de subjetividad, pues hay muchos casos agrupados de los cuales se decide cuánto se debe contar y de qué severidad; además, la subjetividad se da en el registro de casos que son de baja severidad, tan baja que pueden prescindirse, con respecto al estado general del pavimento a simple vista, ya que en vías de mucho daño se tiende a ignorar algunos casos bajos repetitivos, que junto a otros daños juegan un rol minoritario en el servicio que presta el tramo y en la integridad estructural del mismo, y mientras tanto, en vías de daños escasos se tiende a buscar cualquier imperfección y ser registrada.

Puede también discutirse que la cantidad de tramos de la muestra no es suficiente para representar y caracterizar al casco urbano a nivel global, y menos para describir a los sectores. Un sector en promedio posee 12 tramos y a la vez unos 8 barrios, y usualmente tiene elementos de muestreo en vías primarias, secundarias y terciarias, por lo que la muestra debe satisfacer la descripción del estado de las vías de acuerdo al uso que se les da. Un ejemplo está en el sector C, en el cual se calculó el promedio más bajo en estado de servicio, inferior a 70, pero es un sector en cuya muestra no se contaba con ninguna vía principal, y todas ellas correspondieron a malla vial interna. No obstante, a partir de este suceso se plantea que las vías principales son las que reciben buen mantenimiento, están bien diseñadas y construidas, mientras que las vías de barrio son descuidadas a pesar de la poca concurrencia vehicular.

Un factor que pone en duda la certeza de afirmar que las vías primarias tienen mejor rigor de diseño y construcción que las vías terciarias, es la incertidumbre del estado patológico real de todo el sector con respecto al de la muestra, pues es muy común observar un tramo en una cuadra con muchos daños, y otro en la siguiente cuadra con una cantidad mucho menor de daño, dado que a lo largo de la historia del sector se han reparado y reconstruido los tramos, de una forma temporal y geográficamente dispersa dentro del sector.

Estas acciones de gestión aleatorias ocurren en todos los sectores, así como la selección aleatoria de los tramos evaluados, y se desconocen variables clave como la tasa o frecuencia real de las pavimentaciones, y el tiempo desde la última reconstrucción del tramo hasta la fecha de inspección. Sin embargo, implica una investigación más profunda en la que se requiera hacer encuestas a la comunidad y recopilar todo el historial de la gestión administrativa de la malla vial por parte de las entidades del Estado, ejecutado en los planes de desarrollo y de gobierno.

No obstante, todo el método investigativo se basó en expectativas probabilísticas, como una forma de tratar de explicar en un mayor detalle fenómenos presentados con el mínimo suficiente de recursos y herramientas, confrontar hipótesis y hacer observaciones y conclusiones acerca del proceso. En este caso, la expectativa de probabilidad consistió en observar qué tanta probabilidad hay en cada sector, de que sean seleccionados tramos en excelentes o pésimas condiciones, y qué tanta probabilidad se presenta para encontrar variedades de casos patológicos, de materiales de pavimento y tramos sin pavimentar.

En términos especulativos, a criterio propio, se dice que si se repite la recopilación de los datos, con el mismo tamaño de muestra, pero con tramos totalmente distintos a estos, los resultados cuantitativos variarían en un 5% y los cualitativos en un 10%, pues algunos de los sectores son acordes a la tendencia global, otros tienen su propio comportamiento, y otros sencillamente son muy pequeños para una descripción más realista, pero estos últimos son sectores en proceso de desarrollo como las últimas zonas urbanas surgidas en los últimos años.

8. CONCLUSIONES

- Los tipos de daño más relevantes, comunes y evidentes a nivel de la malla vial de Tunja son las fisuras y grietas en bloque, tanto en pavimento flexible como rígido, que dentro del ciclo patológico se hallan en la transición de los daños importantes, próximos a evolucionar en daños más severos que afecten en gran medida el servicio y funcionamiento de las vías. Las fisuras en bloque del pavimento flexible, son causadas por la acción combinada del tráfico y el cambio de temperaturas al ser Tunja una ciudad de clima frío, en donde sus vías con el paso de los años comienzan a endurecerse y a presentar comportamientos menos elásticos y más plásticos, formando fisuras.
- Las grietas en bloque del pavimento rígido son formadas por los asentamientos de las losas sobre una base debilitada por el agua; una intervención del tráfico que acentúa los asentamientos y agrietamientos, y una intervención de la mala gestión en torno a este tipo de pavimentos, pues fueron construidos en zonas residenciales de estratos medios y bajos, y no son tenidos en cuenta para proyectos de rehabilitación o reconstrucción de las losas más dañadas.
- A nivel de sectores en 10 de los 17 sectores es más común la falla en bloque, en 6 prevalece el parche y en tan solo 1 se destacan los descascaramientos. El sector N tiene abundancia de este tipo de daño ya que es un sector en donde hay numerosos tramos de pavimento mixto, cuyo defecto principal es el descascaramiento de la capa asfáltica que deja al descubierto la superficie antigua de las losas. De los 10 sectores en los que está presente el pavimento rígido, la mitad presenta abundancia de grietas en bloque, 4 con abundancia de vegetación y uno en el que sobresalen los parches. De esto se concluye que los dos tipos de falla más comunes están muy estrechamente relacionados, pues la vegetación es tan solo un síntoma de la formación de las grietas, las cuales otorgan mayores longitudes de apertura en las que la vegetación aflora.
- Los sectores de Tunja, más afectados a nivel general, varían de acuerdo a los indicadores de gestión y de calidad del estado de las vías. El sector C según los resultados es el más vulnerado, no solamente por su gran cuantía de tramos de concreto, sino por ser un sector económicamente pobre al destacarse en actividades de reparación de vehículos, cuyo uso de las vías es muy frecuente por tráfico pesado; es un sector de pendientes altas, muy inseguro, y que no representa un valor económico, social ni cultural para llegar a ser tenido en cuenta para una buena gestión de su infraestructura.
- El sector D a pesar de tener el peor tramo, no es un sector tan vulnerado como el C, teniendo una situación promedio de calidad de los tramos. El sector G tiene el factor de cobertura más bajo, por ser un sector en vías de desarrollo y de

estrato bajo, pero tiene tramos cuyos estados de servicio son buenos pues es un sector en proceso de urbanización a raíz del proyecto en marcha del nuevo Terminal de Transportes. El sector O es el más afectado del norte de la ciudad, pues la avenida universitaria tiene tramos con una uniformidad de daños, poca reparación y riesgoso para quienes van a altas velocidades en horas nocturnas.

- El método de la capacidad de daños, formulado en este proyecto, arrojó resultados coherentes relacionados con el estado de servicio de todos los tramos evaluados, que se dispersan a través de todo el rango de estados de servicio de vía, ya que al ser comparados en sus fotografías, éstas reflejan la calidad del servicio que prestan. El promedio global de 85,13 ubica a Tunja en un rango aceptable de su malla vial, pero es importante que se evidencien los resultados más críticos en los sectores más afectados. El análisis global mostró una agrupación de alrededor del 10% de los tramos entre los valores de 14 y 70, indicando que 1 de cada 10 tramos estándar se encuentra en mal, muy mal o pésimo estado.
- A nivel global se analizaron varios indicadores de gestión, entre ellos la tasa de reparcho, correspondiente al 26,4% del conjunto de casos, esto significa que aún hay muchos casos patológicos expuestos, extendidos en la malla vial que se traducen en poca labor de gestión. Por otra parte, estos parches se encuentran en la transición de su ciclo de vida, al haber un 46% de parches de mediana severidad, quiere decir que muchas de las actividades de gestión mediante reparcho no son actuales, y a este ritmo la tasa de daños general en las vías va a permanecer o a aumentar.
- La evolución de las severidades de los casos, como indicador, revela que al haber un 43% de casos de severidad baja, la transición del daño está entre la baja y la mediana severidad, pero es discutible ya que muchos de estos casos son sintomáticos, como la vegetación en pavimentos rígidos causada por el daño de las juntas y las grietas múltiples (1248 casos que reúnen el 9,6% del conteo total de casos). El factor de cobertura no es un indicador crítico, pues el más bajo es de 76%, en un sector próximo a surgir como es el sector G, del barrio Patriotas, viviendas de interés social y la UNAD, gracias al proyecto del nuevo terminal de transporte.
- De acuerdo a los resultados de estado de servicio, la alternativa de solución que se plantea es la de dar prioridad a los pavimentos rígidos en ser reparados y/o reconstruidos, puesto que muchos de ellos son de sectores de altas pendientes, haciendo más difícil la pavimentación con asfalto. En fin, los recursos para este tipo de pavimentos son más fáciles de conseguir, requieren menos estudios técnicos y son más rápidos de construir. No obstante, una de las desventajas de este tipo de vías es la dificultad para remover las losas de concreto dañadas, pues requiere más horas de maquinaria dedicada a estas tareas, y las ventajas anteriormente dichas pueden compensar esta desventaja.

- Haciendo referencia a las cifras positivas, los sectores de mejor desempeño son los sectores H, M y P, siendo dos de ellos de estratos medio-altos, que contribuyen bastante al erario público mediante impuestos; y el otro sector en proceso de desarrollo de infraestructura, que se relaciona con proyectos muy importantes como el Viaducto y el edificio Inaltezza.
- Los daños menos registrados son los daños en los que influyen las altas temperaturas, como las ondulaciones, corrimientos del asfalto por frenado y abultamientos, obviamente por la dosificación de la mezcla asfáltica especial para clima frío, y los pocos registros de temperaturas que superan los 25°C.
- La hipótesis planteada, en función del ancho de los tramos y sus estados de servicio, no fue refutada, pero tampoco confirmada completamente, pues todos los tipos de pavimento mostraron tendencias crecientes y proporcionales a favor de la hipótesis, pero la dispersión de los puntos se observa como una baja incidencia del ancho en el estado de servicio, pues a pesar de definir la capacidad de los daños, su influencia se opaca con otros factores como el reparcho en estos tramos angostos, y otros que fueron reconstruidos recientemente.

9. RECOMENDACIONES

- Dar prioridad a la reparación del 10% de los tramos evaluados, cuyos estados de servicio se encuentran por debajo de 70. Pueden sugerirse los siguientes tipos de mantenimiento:

Tabla 20: Reparaciones de tramos según su rango. Fuente: Autor

Rango de estados	Tramos	Reparación
60-70 (Mal estado)	A256, B231, C110, C63, D110, I65, K203, K364, K460, L178, L252, Q237	En los pavimentos flexibles, hacer repararcho generalizado, con o sin tratamiento previo a las capas granulares. En los rígidos, hacer las reparaciones solamente en las losas más dañadas, y prevenir infiltraciones con mantenimiento de las juntas.
40-60 (Muy mal estado)	A112, A121, B415, B525, C203, F120, J268, K175	En los pavimentos flexibles, hacer repararcho o rehabilitación, necesariamente con el mejoramiento previo de las capas estructurales. En los rígidos y articulados, segmentar los tramos para establecer las porciones que definitivamente necesiten reconstruirse, y las demás porciones deben repararse antes de los 6 meses.
0-40 (Pésimo estado)	C151, D36, Q123	Hay que reconstruir desde cero estos tramos, en el proceso continuo del tramo. Para el tramo Q123 y tramos similares, se recomienda reconstruir con un diseño de apariencia más convencional para vía pública, para efectos de mayor durabilidad.

- Para los sectores A, B, C, I, J, K, N y Q, elaborar un proyecto en el que se haga un inventario de los tramos cuyo estado de servicio sea menor a 50, para luego formular un contrato de obra pública el cual se encargue de rehabilitar estos tramos.
- Fomentar las actividades de remoción de vegetación y limpieza de juntas en pavimentos rígidos, por parte de entidades delegadas generando una oferta de empleo.

10. RECOMENDACIONES METODOLÓGICAS

- Establecer la vegetación en los pavimentos flexibles como un tipo de daño aparte, para no incluirse dentro de la categoría de otros tipos de daño.
- En tramos con mucha cantidad de casos, elaborar dos registros de daño por inspección, para elaborar un consenso entre las diferencias halladas, de la cantidad de casos a utilizar en el cálculo del estado de servicio. De esta manera se corrigen errores en estimación visual de conteo y de severidad.
- Flexibilizar el método para la evaluación de tramos de esquina a esquina de manzanas que por lo general difieren de la medida estándar de 100 metros.
- Aumentar la representatividad de la muestra, para estudios de la malla vial a nivel de sectores de la ciudad y cabeceras municipales menores que requieran un diagnóstico de las redes viales.
- Para la inspección de un tramo, no buscarlo por dirección proveniente de Google Maps, sino referenciarlo directamente en un mapa auxiliar conforme al punto de muestreo; pues la base de datos de direcciones de este sitio tiene muchos errores en cuanto a direcciones y localización de puntos de referencia, y se termina trabajando en un tramo equivocado. En otras palabras, obtener la dirección a partir del tramo evaluado, y no el tramo a partir de la dirección.
- Para una mayor validación del método de evaluación, hacer un estudio comparativo con métodos actualmente aplicados, para consolidar las brechas entre los resultados y tratar de perfeccionar el método aquí presente.

11. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MAYOR DE TUNJA. Plan de Ordenamiento Territorial de Tunja. Año 2001. Cap. 10, pág. 11. 197 p

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). Standard Practice for roads and parking lots Pavement Condition Index (ASTM D-6433). Año 2007.

AYALA, Katherín; FUENTES, Rodolfo; QUINTANA, Natalia. Evaluación y análisis de la estructura del pavimento de la calle 22, Avenida Colón, Avenida Maldonado y avenida villa olímpica de la ciudad de Tunja (Boyacá). Universidad Santo Tomás de Tunja, Año 2009.

BECKER, Edgardo A. Fisuración temprana en pavimentos de concreto. Revista Noticreto. Año 2009. Ed 94. Pgs. 36-48.

CASAS RAMIREZ, César. Supervisión contrato de parcheo y pavimentación de vías secretaria de infraestructura, Alcaldía de Duitama. Universidad Santo Tomás de Tunja. Año 2010.

CUBILLOS, Nelson. Inventario y diagnóstico de la red de pavimentos del municipio de Sopó, Cundinamarca. Universidad Santo Tomás de Tunja, Año 2013.

GALLEGO & VAL MELUS. Sobre las enfermedades de los pavimentos de las carreteras. Universidad Politécnica de Madrid. Año 2010. Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, págs. 101-105.

HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. UPTC – Grinfravial, Tunja. Año 2010. Vol. 2. Págs. 80 y 81.

HIGUERA, Carlos; PACHECO, Fabián. Patología de pavimentos articulados. Revista de ingenierías Universidad de Medellín. Año 2009. Vol. 9, No. 17. p 75-94.

INVIAS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras, Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, Bogotá, año 2006.

INVIAS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras, Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, Bogotá, año 2006.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria, Año 2007.

MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras.
Universidad Católica de Colombia. Año 2002.

SERMENT, Vinicio A. Pavimentos rígidos y flexibles, ventajas y desventajas.
Asociación Mexicana de ingeniería de vías terrestres. Año 2012.

SOLMINIHAC, Hernán de. Gestión de infraestructura vial. Alfaomega. 3° edición.
Año 2005.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. ESCUELA DE
TRANSPORTE Y VÍAS. Sistemas de transporte en Tunja – Características. Año
2012. Pág. 26. 225 p.

ANEXOS

ANEXO A: GLOSARIO

Ahuellamiento: Hundimiento de la vía en sentido longitudinal, formado por el tráfico constante de los vehículos, cuyas llantas demarcan paulatinamente la huella sobre el pavimento flexible o articulado.

Bache: Hueco formado en el pavimento por desprendimiento de la capa de rodadura, en el cual se expone la capa granular.

Bombeo: Fenómeno producido en el pavimento rígido, en el que el agua penetra por las juntas, y disuelve el agregado fino de la capa base, los cuales son expulsados por la junta, provocando más adelante grietas de esquina y crecimiento vegetal en estos espacios.

Capacidad exclusiva: Cantidad de daños que caben en el tramo de una vía, de una sola severidad.

Capacidad repartida: Cantidad de daños que caben en el tramo de una vía, de cada una de las severidades establecidas dentro del tramo, repartida por las ponderaciones que tiene cada una de ellas.

Caso especial: Caso al que se le otorga una severidad especial, por presentar un daño muy serio a nivel estructural del pavimento, una apariencia muy mala de la vía, y por reducir significativamente la calidad del servicio que presta la vía.

Caso patológico: Daño que se registra en el tramo de vía, que se cuenta por unidad, delimitada por una extensión máxima y mínima lineal o areal, y que se clasifica por tipo de daño y por severidad presentada.

Ciclo patológico: Proceso a lo largo del tiempo en el que los daños se manifiestan en el pavimento, evolucionan en daños más severos, y causan otros tipos de daño adicionales.

Código de tramo: Código que designa e identifica al tramo, definido por el punto inicial del muestreo, aleatoriamente escogido, cuyo número va acompañado de la letra del sector al que corresponde.

Confinamiento: Estructura elaborada en concreto, fundida al nivel de la superficie del pavimento articulado, a intervalos definidos en la vía, para contrarrestar los desplazamientos horizontales de los adoquines.

Capacidad de daño: Cantidad de daños que en términos de servicio *caben* en el tramo, en función de las dimensiones del tramo.

Daños recalibrados: Capacidad de daño recalculada cuando la cantidad de daños registrados supera la capacidad inicial, de tal manera que los daños recalibrados la superen hasta en un 10%.

Discontinuidad: Porción de tramo menor a 10 metros, de un tipo de pavimento diferente al del tramo, que no se tiene en cuenta en la evaluación del tramo.

Estado de servicio: Valor numérico de 0 a 100 que califica el estado en el que se encuentra un tramo, en función de los daños que posee, y que tiene una descripción del servicio que presta el tramo, según el rango establecido.

Extensión: Área o longitud en la que normalmente se extiende un daño, establecida para que el daño sea contado como una unidad de caso patológico.

Factor de cobertura: Porcentaje de área pavimentada de los tramos correspondientes a la muestra de un sector.

Gestión: Labor llevada a cabo por la administración pública, relacionada con el diseño, construcción, mantenimiento, reparación y rehabilitación de las vías que conforman la malla vial urbana del municipio.

Junta: Discontinuidad entre las losas del pavimento rígido o los adoquines en el pavimento articulado.

Pavimento articulado: Pavimento cuya superficie está hecha de adoquines de arcilla o concreto, colocados en patrones uniformes como acabado final de la vía.

Pavimento flexible: Pavimento cuya superficie es de mezcla asfáltica con agregados de cantera y finos, sobre una estructura de capas granulares.

Pavimento mixto: Pavimento compuesto por un recubrimiento de mezcla de asfalto, uniformemente extendido sobre el pavimento rígido deteriorado, con el fin de repararse.

Pavimento rígido: Pavimento cuya superficie es constituida por losas cuadradas, rectangulares o trapezoidales de concreto hidráulico, sobre una estructura de capas granulares.

Pulimento: Desgaste parejo de todos los agregados que componen el pavimento tanto flexible como rígido, haciéndolo más liso y con menor agarre.

Radio de desportillamiento: Distancia desde el borde de la junta, grieta o fisura principal, hasta el borde más lejano dejado por el trozo de material desportillado, que es medida u observada en la evaluación de la severidad de los desportillamientos en pavimentos rígidos.

Reflexión de capas en junta: Desnivel formado en el acabado del pavimento reciente, sobre la junta donde comienza la porción de pavimento más antiguo, en

sentido transversal, que tiene un efecto reductor de velocidad, y al no ser monolítica puede formar una fisura o grieta transversal.

Sello: Unión en la junta de las losas de concreto, hecha de alquitrán, asfalto, silicona, madera o mampostería, para proteger la junta de la infiltración del agua y de partículas que conllevan a la exposición de vegetación en la junta.

Servicio: Conjunto de bondades funcionales para las cuales es construida una vía, entre ellas el confort, el dominio del vehículo al ser manejado, la durabilidad de los componentes del vehículo, el rendimiento del tiempo de recorrido, la estética de la vía y de su entorno urbano, que repercuten positivamente en el desarrollo socioeconómico del entorno de la vía.

Severidad: Grado con el que se califica individualmente un caso patológico, bajo, medio, alto o especial, con base en parámetros establecidos de medición, como aperturas, desniveles, elevaciones, desplazamientos, profundidades, color, apariencia y textura.

Síntoma: Tipo de daño frecuentemente presentado en un tramo o sector, que de acuerdo a su relativa frecuencia respecto a los tipos más presentados, es un daño complementario en la transición del ciclo patológico, causado por motivos comunes a los daños más representativos.

Tasa de reparcho: Porcentaje de parches registrado, con relación a la suma de parches y demás casos patológicos de severidades media, alta y especial, que indica cuantos daños han sido reparados a lo largo de la historia de los tramos.

Tramo: Unidad de muestra de estudio, que consiste en un segmento de calzada definido con una longitud estándar, en la cual se registran los casos de daños dentro de esta referencia.

Tramo combinado: tramo compuesto de dos o más sub-tramos o porciones hechos de diferentes materiales de pavimento.

Tratamiento superficial: recubrimiento en una parte de la vía, hecho de mortero o alquitrán, del orden de hasta 1 cm de espesor, con el fin de sellar algunas fisuras o grietas y mitigar infiltraciones.

Veta: Conjunto de líneas paralelas imaginarias o reales formadas por el patrón de colocación de los adoquines en el pavimento articulado.

ANEXO B: FORMULACIÓN DE MÉTODO DE EVALUACIÓN EN OTROS TIPOS DE PAVIMENTO

FORMULACIÓN PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Este material tiene sus propias extensiones de daño.

Tabla 21: Extensiones razonables de tipos de falla en pavimentos rígidos.

PAVIMENTOS RÍGIDOS	EXTENSIÓN MÁXIMA (m ²)			EXTENSIÓN MÍNIMA (m ²)		
	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Grieta de esquina	0,35	0,56	0,84	0,02	0,05	0,15
Grieta longitudinal	1,75	2,45	3,15	0,4	0,56	0,72
Grieta transversal	1,75	2,45	3,15	0,4	0,56	0,72
Grieta en extremo de pasado	1,05	1,47	1,89	0,24	0,336	0,432
Grieta en bloque			6			2
Bache	0,2	1	1,5	0,06	0,2	0,3
Escalonamiento transv, long	0,35	0,35	0,35	0,08	0,08	0,08
Levantamiento de pedazos de	1,5	1,5	1,5	0,15	0,15	0,15
Parche	2	2	2	0,1	0,1	0,1
Hundimiento	3	3	3	1	1	1
Vegetación	0,2			0,005		
Daños en pozos o sumideros	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Otras fallas	0,15	0,5	0,8	0,01	0,1	0,1

Fuente: Autor

La estimación de las capacidades es la siguiente. El porcentaje efectivo en el tramo será del 70%

Tabla 22: Capacidades estándar de daños.

SEVERIDADES	EXTENSIONES MÁXIMAS (m ²)				EXTENSIONES MÍNIMAS (m ²)			
	B	M	A	E	B	M	A	E
PROMEDIO DE EXTENSIONES	7,9753	1,4436	2,0650	4	0,2554	0,3396	0,5293	3
PONDERACIÓN	0,15	0,25	0,3	0,3	0,15	0,25	0,3	0,3
CAPACIDAD EXCLUSIVA	52,663	290,932	203,390	105	1644,37	1236,62	793,451	140
CAPACIDAD REPARTIDA	7,899	72,733	61,017	31,500	246,656	309,154	238,035	42,000
CAPACIDAD DE DAÑOS	127,278	190,944	149,526	36,8				
FACTOR DE REDUCCIÓN	0,8	0,6	0,5	0,4				
CAPACIDAD FINAL	101,822	114,566	74,7631	14,7				
APROXIMACIÓN	122	115	75	15				

Fuente: Autor

Llevando a cabo el mismo procedimiento de formulación, la ecuación del estado de servicio en pavimentos rígidos es:

$$ES = 100 * S [1 - (LX)^{-1,5} (1,636B^{1,5} + 2,979M^{1,5} + 6,788A^{1,5} + 75,895E^{1,5})]$$

En el pavimento rígido, los daños superficiales destacados como primarios son la desintegración, el descascaramiento, la separación de juntas (en ambos ejes), los daños de sello y los desportillamientos (Desportillamientos en juntas y en grietas

existentes). El procedimiento de formulación es similar al anterior, en función de la influencia por servicio y por gestión.

Son 5 tipos de daño superficial, por lo cual, el tipo más influyente tendrá 5 puntos, el siguiente 4 puntos, y así sucesivamente. En la tabla 23 se indican las puntuaciones y la justificación correspondiente, ponderadas en la tabla 24.

Tabla 23: Influencia de daño superficial en pavimento rígido.

Tipo de daño	Influencia por servicio		Influencia por gestión	
	Puntaje	Justificación	Puntaje	Justificación
Desintegración	5	La lluvia y el tráfico excesivo socavan la parte fina del concreto, Los agregados gruesos expuestos, del orden de 1", hacen una superficie muy escabrosa que causa ruidos al pasar y desgasta los neumáticos	3	La mala gestión en torno a la desintegración radica en malas dosificaciones del concreto y/o uso de concreto corriente sin propiedades hidráulicas.
Descascaramiento.	1	Los pequeños huecos en la superficie del pavimento pueden afectar el servicio, pero estos casos son muy infrecuentes.	1	La poca gestión se limita únicamente a la falta de curado del concreto, como una práctica ignorada por muchos contratistas, y son daños subsanables en cualquier momento.
Separación de juntas	3	Las separaciones a menudo se complementan con escalonamientos de juntas, que reducen la velocidad de tráfico, pero no tanto como en los desportillamientos	4	Además del sellado de las juntas, las separaciones y desplazamientos de juntas son indicadores de poca gestión, al descuidar aspectos geotécnicos y estructurales.
Daños del sello	2	Es la causa principal de varios casos patológicos consecuentes, pero en sí, afecta muy poco el desempeño en el tráfico.	5	La calidad del sellado de las juntas es algo imprescindible, pues de ello depende la vida útil de los pavimentos rígidos.
Desportillamiento	4	El desportillamiento más influyente es el de los bordes de las grietas en bloque, que causa dificultades al transitar a una velocidad moderada.	2	El desportillamiento es causado por la resistencia reducida del concreto, pero es generado después de mucho tiempo en el servicio.

Fuente: Autor

Tabla 24: Ponderación de influencias.

DAÑO	SERVICIO	GESTIÓN	SERVICIO (%)	GESTIÓN (%)	PROMEDIO (%)	AJUSTE FINAL (%)
DESINTEGRACIÓN	5	3	33,33	20,00	26,67	27
DESCASCARAMIENTO	1	1	6,67	6,67	6,67	7
SEPARACIÓN DE JUNTAS	3	4	20,00	26,67	23,33	23
DAÑOS DEL SELLO	2	5	13,33	33,33	23,33	23
DESPORTILLAMIENTO	4	2	26,67	13,33	20,00	20
TOTAL	15	15	100	100	100	100

Fuente: Autor

El factor S mínimo para este material será de 0,75, ya que se cuenta con mayor variedad de tipos de daño, y muchos de ellos dependen de la gestión en el diseño, construcción y mantenimiento de las vías de concreto.

De esta manera:

$$S = 1 - (0,25 * 0,27)DI - (0,25 * 0,07)DE - (0,25 * 0,23)SJ - (0,25 * 0,23)DS - (0,25 * 0,2)DP$$

$$S = 1 - 0,0675DI - 0,175DE - 0,0575SJ - 0,0575DS - 0,05DP$$

Los tipos de daño superficial dependen de la cobertura general de los daños en el tramo (%cob), excepto el daño de sello, estimado en un porcentaje de daños en el sello (%DS), de forma lineal, inherente al área del tramo evaluado, y sin severidades definidas

$$S = 1 - (0,0675DI + 0,0175DE + 0,0575SJ + 0,05DP)\%cob - 0,0575 * \%DS$$

Los valores para las severidades son los mismos de la tabla 15.

FORMULACIÓN PARA PAVIMENTOS ARTICULADOS

Los pavimentos articulados poseen las siguientes extensiones de daño:

Tabla 25: Extensiones razonables de tipos de falla en pavimento articulado.

PAVIMENTOS ARTICULADOS	EXTENSIÓN MÁXIMA (m ²)			EXTENSIÓN MÍNIMA (m ²)		
	B	M	A	B	M	A
Abultamiento	1	1,5	2,5	0,2	0,5	1
Ahuellamiento	0,6	1,2	2	0,2	0,3	0,4
Hundimiento	1,5	2	2,5	0,15	0,2	0,25
Escalonamiento de adoquines	1,5	1,5	1,5	0,3	0,3	0,3
Escalonamiento de bordes	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1
Desplazamiento de juntas	1,5	1,5	1,5	0,6	0,6	0,6
Fracturamiento de adoquines	1	1	1	0,1	0,15	0,2
Grietas en confinamientos	0,4	0,4	0,4	0,15	0,15	0,15
Vegetación	0,15	0,15	0,15	0,005	0,01	0,02
Otras fallas	0,3	0,5	0,8	0,01	0,1	0,1
Daños en pozos o sumideros	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Fuente: Autor

Luego se calculan las capacidades para una efectividad de área del 70%.

Tabla 26. Capacidades estándar de daños.

SEVERIDADES	EXTENSIONES MÁXIMAS (m ²)				EXTENSIONES MÍNIMAS (m ²)			
	B	M	A	E	B	M	A	E
PROMEDIO DE EXTENSIONES	0,8136	0,9773	1,2136	4	0,2195	0,2736	0,3382	3
PONDERACIÓN	0,15	0,25	0,3	0,3	0,15	0,25	0,3	0,3
CAPACIDAD EXCLUSIVA	516,201	429,767	346,067	105	1913,04	1534,88	1241,94	140
CAPACIDAD REPARTIDA	77,430	107,442	103,820	31,5	286,957	383,721	372,581	42
CAPACIDAD DE DAÑOS	182,193	245,581	238,200	36,8				
FACTOR DE REDUCCIÓN	0,8	0,6	0,5	0,4				
CAPACIDAD FINAL	145,755	147,349	119,1	14,7				
APROXIMACIÓN	146	147	119	15				

Fuente: Autor

Dando como resultado la siguiente ecuación

$$ES = 100 * S [1 - (LX)^{-1,5} (1,25B^{1,5} + 2,062M^{1,5} + 3,396A^{1,5} + 75,895E^{1,5})]$$

Los tres tipos de daño superficial más reconocidos son la pérdida de arena, el desgaste superficial y las juntas abiertas. Como son 3 tipos de daños, el más influyente tendrá 3 puntos.

Tabla 27: Influencia de daño superficial en pavimento articulado.

Tipo de daño	Influencia por servicio		Influencia por gestión	
	Puntaje	Justificación	Puntaje	Justificación
Pérdida de arena	1	La arena que brota de los sellados de los adoquines causa mal aspecto visual, pero no altera el servicio que presta el pavimento.	1	La pérdida del sellado de arena depende del rigor de la colocación del adoquín y el confinamiento del mismo, pero depende más de la frecuencia de las lluvias.
Desgaste superficial	2	Para adoquines de arcilla, es un pulimento que afecta el frenado de los vehículos; Para los adoquines de concreto, tiene un efecto similar al de la desintegración del pavimento rígido, pero este desgaste se da a nivel de cada adoquín y no en forma generalizada.	2	Interviene un factor un poco más ligado a la falta de gestión, pues el desgaste depende de la calidad de la capa de rodadura, y por ende, del presupuesto invertido.
Juntas abiertas	3	Las juntas abiertas, donde se exponen los filos de los adoquines, reducen la velocidad de marcha, y la superficie tiende a hincharse o asentarse por la infiltración del agua.	3	La mala gestión se relaciona con la baja calidad de la mano de obra, del diseño de la capa base, y del diseño del entramado de los adoquines.

Fuente: Autor

Como la influencia por servicio y por gestión es la misma, se hace una unificación de criterios. Los tipos de fallas en el pavimento articulado, poseen grados de

influencias por clase, estructurales o funcionales, como criterios de evaluación (Higuera & Pacheco, 2009), los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 28: Influencias por clase de daños superficiales.

CLASE	TIPO DE DETERIORO	Afecta parámetro		INFLUENCIA POR CLASE, FC	
		Estructural	Funcional	Estructural	Funcional
Deformaciones	Abultamiento	U	U	48	48
	Ahuellamiento	U	U		
	Depresiones	U	U		
Desprendimientos	Desgaste superficial		U	6	9
	Pérdida de arena	U	U		
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	U	U	10	10
	Desplazamiento de juntas		U		
Fracturamientos	Fracturamiento	U		28	10
	Fracturamiento de confinamientos externos	U	U		
	Fracturamiento de confinamientos internos	U	U		
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines	U	U	8	23
	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos		U		
	Juntas abiertas		U		
	Vegetación en la calzada	U	U		
Sumatoria				100	100

Fuente: Higuera & Pacheco, 2009

Los valores de influencia anteriormente dados se ponderan y se promedian para cada uno de los tipos de daño.

Tabla 29: Ponderación de influencias

DAÑO	ESTRUCTURA	FUNCIÓN	SERVICIO	GESTIÓN	ESTRUCT. (%)	FUNC. (%)	SERV. (%)	GEST. (%)	PROM. (%)	AJUSTE (%)
PÉRDIDA DE ARENA	6	9	1	1	30	21,95	16,67	16,67	21,32	21
DESGASTE SUPERFICIAL	6	9	2	2	30	21,95	33,33	33,33	29,65	30
JUNTAS ABIERTAS	8	23	3	3	40	56,10	50,00	50,00	49,02	49
TOTAL	20	41	6	6	100	100	100	100	100	100

Fuente: Autor

El factor S mínimo será de 0,75, ya que los daños superficiales son poco frecuentes e influyentes.

La ecuación de daño superficial queda de esta forma:

$$S = 1 - (0,25 * 0,21)PA - (0,25 * 0,3)DS - (0,25 * 0,49)JA$$

$$S = 1 - (0,0525PA + 0,075DS + 0,1225JA)\%cob$$

Los valores de los tipos de daño por severidad se hallan por coberturas parciales respecto a la cobertura total de daños; las coberturas se multiplican por los mismos valores de la tabla 15.

PAVIMENTOS MIXTOS

Son aquellos pavimentos, no convencionales, que son resultado de errores o circunstancias constructivas en el momento de ser reparados los pavimentos rígidos. Debido a situaciones de falta de gestión, no se estudian los tramos rígidos deteriorados más allá del servicio, para rehabilitaciones o reconstrucciones desde cero, y en lugar de ello se extiende una capa de rodadura de asfalto sobre el pavimento rígido anterior, y con ello se prolonga temporalmente el servicio de la vía. Sin embargo, esta capa de rodadura no está en situaciones de desempeño como las que posee en un sistema multicapa, y tiende a fallar más rápido desde las juntas y grandes grietas del pavimento recubierto.

Por otro lado, la capa inferior de concreto ayuda a tolerar los impactos del tránsito, haciendo que el pavimento mixto tienda a comportarse en una transición entre el material flexible y el rígido. Es por ello que las capacidades calculadas se promedian, además de que son valores muy parejos.

Tabla 30: Capacidades estándar de daños para pavimento mixto. Fuente: Autor

MATERIAL	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL
PAVIMENTOS FLEXIBLES	121	116	96	13
PAVIMENTOS RÍGIDOS	122	115	75	15
PAV. MIXTOS (PROMEDIO Y REDONDEO)	121	115	86	14

$$ES = 100 * S[1 - (LX)^{-1,5}(1,656B^{1,5} + 2,979M^{1,5} + 5,528A^{1,5} + 84,17E^{1,5})]$$

La superficie de estos pavimentos es flexible, por lo tanto se tienen en cuenta solamente los tipos de daño superficial para este material, con los mismos porcentajes de influencia, pero dado que estos pavimentos fueron hechos por falta de gestión, y que las fisuras del asfalto se forman sobre las juntas de las losas de concreto, reduciendo la calidad de servicio, el factor S mínimo es de 0,75.

$$S = 1 - (0,7 * 0,25)D - (0,3 * 0,25)P = 1 - (0,175D + 0,075P)\%cob$$

ANEXO C: CRITERIOS DE MUESTREO

Además de los criterios metodológicos planteados para los cálculos y análisis en el estudio de la patología vial, es necesario plantear criterios en el muestreo de los tramos evaluados, con la idea de garantizar en lo posible la uniformidad de los tramos, la selección de tramos de diversos usos, de diversos materiales, y la distribución equitativa de los tramos geográficamente dentro del sector.

Como primera medida, se tienen en cuenta varios grupos de criterios en las etapas del muestreo, las cuales se trabajan en el programa ArcMap, con las siguientes capas:

-Manzanas.shp: es la capa de polígonos del manzaneo del casco urbano de Tunja, a escala.

-NomenclaturaVial.shp: es la capa de líneas y polilíneas de la última actualización de la malla vial transitable en el instante de la adquisición de la información (Junio de 2014).

-SECTORES: es la capa de polígono creada dentro de la base de datos SECTORES.mdb, con el fin de dibujar sobre la malla vial los sectores que componen el estudio.

-TRAMOS_A a TRAMOS_Q: son 17 capas de punto, una para cada sector, usadas para designar cada punto de muestreo sobre los tramos viales correspondientes a cada sector.

-VIAS: Después de la selección y trabajo de campo en los tramos de vía, esta capa de línea verde gruesa se usa para dibujar los tramos definitivos del estudio, con sus longitudes reales.

DELIMITACIÓN DE LOS SECTORES

-Todo sector debe albergar las diferentes categorías de vías (primarias, secundarias y terciarias); a excepción del sector O (avenida universitaria).

-Si dos sectores comparten una vía de doble calzada en la línea divisoria, un sector tomará una calzada, y el otro con la otra calzada.

-La extensión del sector se hace hasta donde culmine la parte urbana, o hasta donde finalicen las vías de transición urbana a rural.

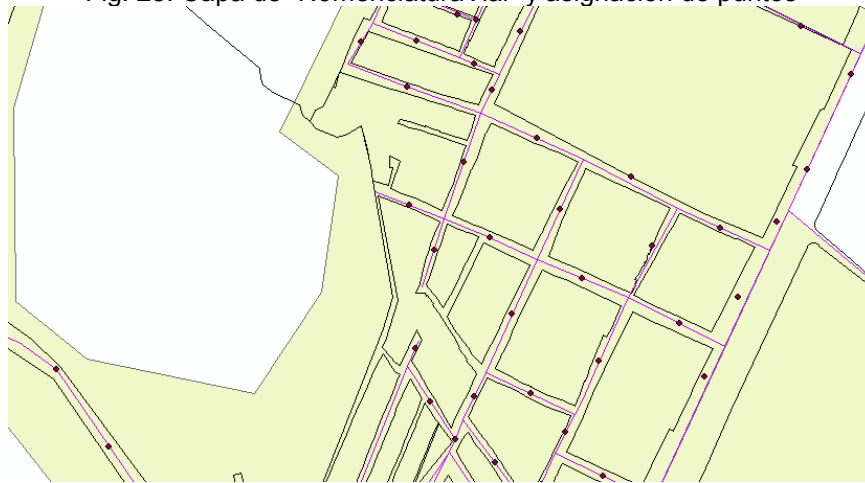
-La división de los sectores se hace de acuerdo a las zonificaciones de la ciudad, las cuales son divididas por las vías principales de la ciudad y/o los límites entre barrios.

-Al dividirse dos sectores a través de una vía principal de una sola calzada, los tramos de la vía principal se tienen en cuenta para el sector de menor área, para compensar la diferencia de áreas con cantidad de puntos de muestreo.

ASIGNACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DENTRO DE LOS SECTORES.

-Inicialmente dentro de la red vial de cada sector deben colocarse puntos en todos los tramos viales existentes del mapa actual, el tramo consiste en un espacio entre esquinas de las manzanas, siempre y cuando, dicho espacio tenga una línea rosada de la capa "NomenclaturaVial", la cual indica las vías actualmente existentes y transitables, aunque algunas no estén pavimentadas.

Fig. 25: Capa de "NomenclaturaVial" y asignación de puntos



Fuente: Autor

-Debe medirse cada longitud de cuadra; si esta longitud supera los 110 metros, se le deben asignar 2 puntos a la cuadra; si se superan los 210 metros, se colocan 3 puntos, y así sucesivamente.

-En varios casos pueden omitirse puntos, pues hay cuadras del orden de 20 a 30 metros, y un solo punto puede representar varias cuadras cortas.

-Para efectos de mayor imparcialidad, la asignación de puntos se hace en un orden, para un sector se puede comenzar por el sur y terminar por el norte.

-Para vías de doble calzada, se debe colocar un punto en cada calzada, procurando respetar la distancia de 100 metros entre puntos, y que los puntos sean por pares.

-Las vías de conjuntos cerrados, condominios, y otros sectores exclusivos, no se tienen en cuenta para el muestreo.

-Para los tramos del sector O, como son de 500 metros, se divide la longitud de la avenida universitaria entre 500 m, determinando la cantidad de pares de puntos a colocar, aproximando siempre por exceso.

SORTEO DE LOS PUNTOS DE MUESTREO PARA CADA SECTOR.

-Cada punto tiene un atributo asignado automáticamente por el programa, llamado OBJECTID, que es el orden en el que fue dibujado en el mapa, o un número entero. Para la selección del número aleatorio se utiliza la función =ALEATORIO.ENTRE(1;número de puntos en la capa del sector) en Excel. Tener en cuenta que la función se vuelve a ejecutar cada vez que se hace una modificación en la hoja de cálculo, por lo que se recomienda anotar en otra columna los números que van saliendo.

-Escoger aleatoriamente un grupo significativo de números, para comenzar a descartar puntos de muestreo. El primer número obtenido tiene la máxima prioridad, y cada número tendrá menor prioridad que el anterior.

-Se verifica que el punto escogido corresponda con un tramo de vía apto para el muestreo (para ello se utiliza Google Earth). Si el punto escogido cae en una vía existente y accesible, se aprueba.

-Si el punto cae en una vía peatonal, o una vía cerrada por barreras, o un callejón no apto para vehículos, o terreno no adecuado para el paso de vehículos, el punto no se aprueba.

-Si dentro de una cuadra con dos puntos, un punto es aprobado, y después es escogido el otro punto, se le da la prioridad al primer punto escogido y el otro punto se rechaza.

-Si dos puntos bastante cercanos son escogidos, debe analizarse el manzaneo para buscar una solución a que un punto no invada al otro en sus 100 metros de referencia; si no es posible, el segundo punto se descarta.

-De acuerdo a la cantidad de barrios dentro del sector, si muchos puntos se concentran en un solo barrio, se deben buscar unos cambios de punto, para hacer muestreo en otra parte del sector, y que de esta forma se homogenice el muestreo.

DELIMITACIÓN DEL TRAMO A EVALUAR A PARTIR DEL PUNTO

-Todo tramo debe tener un inicio y un final, y se debe procurar la escogencia apta del tramo de tal manera que posea 100 metros.

-Si el punto se ubica en una cuadra corta, el inicio del tramo debe estar en alguna de las esquinas de la cuadra corta.

-Si se encuentra en una cuadra corta y a la vez en una interrupción de vía por giro, esquina o calle ciega, el tramo puede trazarse por el otro lado.

-Se debe procurar evitar tramos en L, C, T, S, o cualquier tramo doblado, a menos que haya que trazarse así por causa del tamaño o interrupción de las cuadras, con el fin de alcanzar los 100 metros.

-Si el tramo en torno al punto incurre en una categoría distinta de vía en algún segmento, se debe trazar por otro lado, de lo contrario, se cambia.

-Hay ocasiones en donde las direcciones de Google Earth no corresponden con las direcciones reales de la ciudad. Se recomienda no hacer las visitas con base en una dirección, sino con base en un mapa en donde se indique el inicio del tramo, y el número de tramo, como se muestra en la figura 25.

Fig. 26: Fotografía aérea con localizaciones de tramos para guía de campo



Fuente: Autor

DEFINICIÓN DE LA ZONA LONGITUDINAL DE MUESTREO EN EL CAMPO

-Al llegar al punto de muestreo, se verifican las condiciones de uso de la vía; si la vía posee muchos vehículos en movimiento, muchos vehículos parqueados, o concurrencias de personas, la visita debe aplazarse para horas de madrugada con el fin de tomarse los datos en el horario despejado.

-Si la vía en el día de su visita se encuentra en operaciones de rehabilitación, reparcho, excavaciones para mantenimiento de redes hidráulicas y eléctricas, u obras en los andenes, el punto de muestreo debe cambiarse, ya que los resultados para el día de visita van a cambiar.

-Los 100 metros deben medirse desde una esquina. Si el tramo medido se termina antes de llegar a 100 metros, se debe pensar en alguna completación del tramo,

puede tenerse en cuenta la distancia de la esquina inicial al borde de la calle que intersecta. Si aún no se llega a los 100 metros, se debe buscar un giro en alguno de los extremos del tramo. Si en los extremos no hay giros, el tramo continúa por intersecciones intermedias, formando una T, para el caso más extremo.

-Si el tramo pasa por una carrilera, el ancho de la carrilera no se tiene en cuenta dentro del tramo para la medición.

-Si dentro de los 100 metros de tramo se aprecia más de un tipo de pavimento, se miden los segmentos por aparte hasta completar el tramo.

-En términos de longitud, si hay una porción de diferente tipo, inferior a 10 metros, esta porción no entra en juego en el conteo, sin importar si se halla en extremos, partes intermedias o calles que intersecten la vía.

-Para el caso anterior, en el tramo se le denomina discontinuidad. El tramo dentro de sus 100 metros no puede tener más de una discontinuidad; si tuviera otra discontinuidad, se descarta el extremo más corto del tramo y éste tendrá una longitud menor a 100 m.

-Si dos tramos escogidos del mismo material se cruzan, el nudo de la cruz se incorpora en el tramo de mayor prioridad.

-El tramo puede ser inferior a 100 metros, si se encuentra en una cuadra menor a los 100 metros (entre esquinas internas), y las calles perpendiculares sean de otro tipo de pavimento, y a simple vista se aprecia la diferencia de deterioros entre las calles.

-El tramo puede ser inferior a 100 metros, si se encuentra en una cuadra de menos de dicha longitud, y las calles perpendiculares sean de otro tipo de pavimento, y que existan otras diferencias drásticas como la pendiente y la frecuencia del flujo de vehículos.

-El tramo puede ser inferior a 100 metros, si se limita por la condición de la discontinuidad, inferior a 10 metros, y el otro extremo del tramo no pueda prolongarse por cualquier criterio estipulado.

-En ningún caso la longitud del tramo puede ser menor a 60 metros, de lo contrario, deberá cambiarse el punto de muestreo.

-La longitud de medición, sin importar la pendiente, será la longitud paralela a la superficie de la vía, pues se mide lo que entra en contacto con los vehículos.

TOMA DE DATOS DE CAMPO DENTRO DEL TRAMO

Dentro de los 100 metros de tramo se anotarán en el cuaderno todos los casos patológicos encontrados, a excepción de los siguientes:

-Casos patológicos de baja severidad dentro de los 10 cm medidos desde los bordes de las calzadas, excepto las fisuras de borde.

-Daños en las cunetas de concreto.

-Vegetación invasiva en los bordes o costados del tramo.

-Casos de suciedad en la vía (agregados de construcción, tierra, derrames de pintura o aceite).

-Casos de extensión areal en donde menos del 20% de su extensión se localice dentro del área del tramo, en los extremos donde están las líneas imaginarias de inicio y fin del tramo.

-Casos dentro de áreas adyacentes al tramo (bahías de parqueadero y ramplas que invaden la vía)

-Excepción al punto anterior, si la bahía de parqueo funciona como ensanchamiento de la calzada.

Para la medición del ancho de la vía, se consideran estos puntos:

-En pavimentos flexibles, cada valor de ancho de vía se mide en la zona de la carpeta asfáltica exclusivamente.

-En pavimentos rígidos, los anchos se miden desde el inicio de la losa hasta el final de la losa del otro costado, contando la junta y el sello.

-En pavimentos articulados, los anchos son comprendidos como el espacio libre entre los sardineles de la vía.

-En tramos no pavimentados, se mide el ancho transitable, es decir, en la zona libre de vegetaciones y/o rocas.

-Para las avenidas, es suficiente tomar un valor de ancho de vía.

-En vías secundarias y terciarias, se toman como mínimo dos anchos de vía, o más, dependiendo de la variación del ancho a lo largo del tramo. La cantidad de anchos se promedia.

-Para tramos de diferentes materiales, cada porción trabaja con sus propias medidas de ancho, y no se hace un promedio general.

-En las vías donde se encuentren bahías de parqueo en las que no se registren casos patológicos, el ancho se mide sin tener en cuenta el ancho de la bahía.

Para la toma de fotografías, se tiene en cuenta:

-Todos los tramos poseen 3 fotografías; dos tomadas en los extremos con vista al tramo, y otra tomada en algún punto intermedio.

-Para las fotografías, se procura que la vía no tenga obstáculos que impidan la amplia visualización.

-Si la vía posee daños bastante serios, alguna de las fotografías debe mostrar la parte de estos daños.

Para el registro de datos en el cuaderno, se sabe:

-Primero se escribe el código del tramo, por ejemplo F82 (Sector F, punto 82 del muestreo en el programa).

-Después se escribe el material del pavimento; flexible (flexible o flex.); rígido (rígido o *ríg.*); articulado (o art.); o mixto.

-Se coloca la fecha de visita del tramo.

-Para distinguir cada tipo de caso patológico, y para rendir espacio, se escribe una abreviatura del caso patológico. Ejemplo, para la grieta en piel de cocodrilo se escribe *coco*; para vegetación, *veg*; para descascaramiento, *desc* o *descasc*.

-Frente a las abreviaturas escritas se anotan los casos por letras (A para altos, M para medios y B par bajos). Ejemplo, en el cuaderno se anota *Long: MMBMABBM*, es decir se registraron 3 casos bajos, 4 casos medios y un caso alto para fisura longitudinal.

-Para casos de severidad exclusiva, como las grietas en bloque en pavimento rígido, de severidad alta; para efectos de mayor rendimiento no se anotan como "AAAAA" sino por rayas, "|||||".

-Se anotan los anchos registrados sin operar ningún promedio.

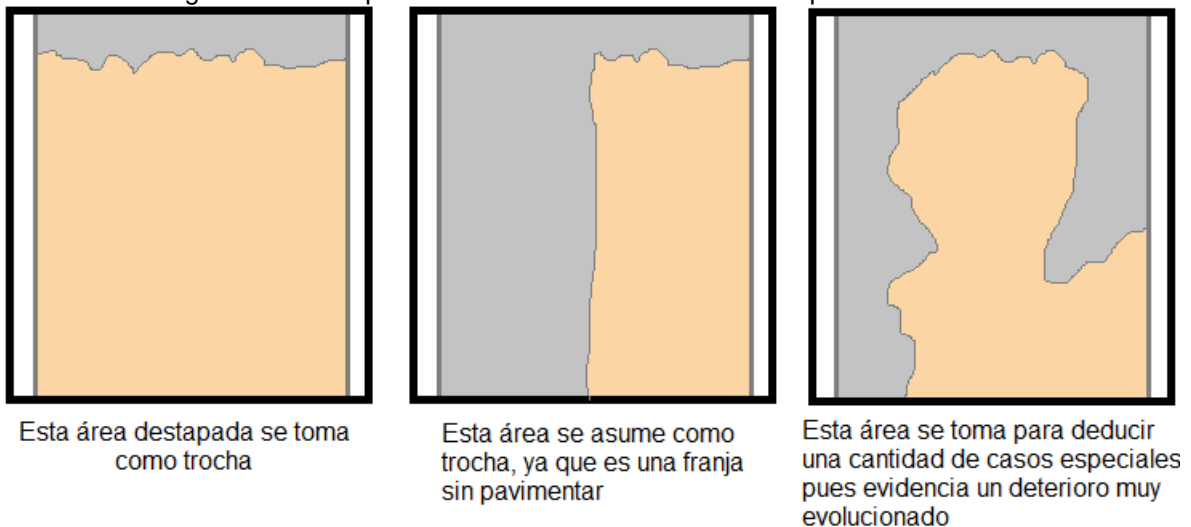
-Para tramos de varios materiales, se anota por aparte la cantidad de daños para un material, la longitud de tramo y los anchos para dicha porción.

-Si el tramo es menor a 100 metros, se anota la longitud tomada.

-Si el tramo es no pavimentado, no se registran daños, indicando que es trocha, y los daños no son evaluados ya que una vía sin pavimentar es indicador de falta de gestión en el sector.

-Si el tramo cuenta con un área extendida de trocha, debe tenerse en cuenta esto para registrar el área de trocha, o dividirla en casos especiales.







Fig. 27: Criterios para consideración de trochas en la apariencia de la vía.

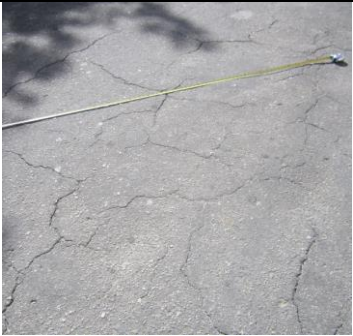







Fuente: Autor






-Si en la observación del tramo se aprecia más una apariencia de trocha que de un pavimento descuidado o abandonado, el tramo se registra como trocha.

ANEXO D: CRITERIOS DE INSPECCIÓN VISUAL UTILIZADOS

PAVIMENTOS FLEXIBLES (INVIAS, 2006)			
	<p>Fisura Longitudinal (FL) Baja: Abertura menor a 1 mm, o reparada; extensión de 30 cm a 4 m. Media: Abertura entre 1 y 3 mm, puede tener pequeñas fisuras adyacentes; ext. de 50 cm a 4 m. Alta: Abertura mayor a 3 mm, fisuras adyacentes más drásticas; ext. de 0,7 a 4 m; menos de 0,7 m se cuenta como media.</p>		<p>Fisura Transversal (FT) Extensiones y severidades iguales a las de fisuras longitudinales.</p>
	<p>Fisura Longitudinal en junta (FLJ) y fisura transversal en junta (FTJ) Extensiones y severidades iguales a las de fisuras longitudinales.</p>		<p>Reflexión de capas en juntas (RCJ) Preferiblemente transversales Baja: Desnivel de capas menor a 1 cm Media: Desnivel de capas entre 1 y 3 cm con posible fisura entre ellas. Alta: Desnivel de capas mayor a 3 cm, puede tener fisuras de media o alta severidad. Extensión: de 0,5 a 4 m.</p>
	<p>Fisura en medialuna (FML) Severidades iguales a las de fisuras longitudinales. Extensión: de 1 a 4 m.</p>		<p>Fisura de Borde (BOR) Extensiones y severidades iguales a las de fisuras longitudinales.</p>

	<p>Fisuras en bloque (BLO) Baja: Aberturas generales menores a 1 mm, con o sin conexión entre ellas. Media: Aberturas generales entre 1 y 3 mm Alta: Aberturas generales mayores a 3 mm, con desportillamientos en los bordes.</p>		<p>Piel de cocodrilo (COC) Si el diámetro promedio de los fragmentos es menor a 15 cm, de lo contrario se considera Fisura en bloque. Baja: Aberturas menores a 1 mm, con o sin conexión entre ellas. Media: Aberturas entre 1 y 3 mm Alta: Son mayores a 3 mm y tienen desportillamientos.</p>
	<p>Daños en pozos o sumideros (POZ) (en todos los pavimentos) Baja: tapa con daños superficiales; corona con vegetación solamente. Media: tapa o corona con algunas fisuras; tapa o corona con desniveles de hasta 4 cm. Alta: tapa o corona con grietas y/o pérdida de pedazos; tapa y/o corona con desniveles mayores a 4 cm.</p>		<p>Deslizamiento de capas (FDC) Extensiones y severidades iguales a las de fisuras longitudinales.</p>
	<p>Ondulación (OND) Baja: desnivel menor a 1 cm Media: desnivel entre 1 y 2 cm Alta: desnivel mayor a 2 cm</p>		<p>Abultamiento (ABU) Baja: desnivel menor a 1 cm Media: desnivel entre 1 y 4 cm Alta: desnivel mayor a 4 cm</p>

	<p>Hundimiento (HUN) Baja: profundidad menor a 2 cm. Media: profundidad entre 2 y 4 cm. Alta: profundidad mayor a 4 cm.</p>		<p>Ahuellamiento (AHU) Baja: profundidad menor a 1 cm. Media: profundidad entre 1 y 2,5 cm. Alta: profundidad mayor a 2,5 cm.</p>
	<p>Descascaramiento (DCC) Baja: profundidad menor a 2 cm Media: profundidad entre 2 y 4 cm. Alta: profundidad mayor a 4 cm sin llegar a exponerse la capa de base.</p>		<p>Bache (BCH) Baja: Severidad alta del descascaramiento con exposición de la base. Media: Socavación de la capa granular de hasta 2 cm, agregados sueltos alrededor del bache. Alta: Socavación mayor a los 2 cm.</p>
	<p>Parche (PCH) Baja: Parches en buen estado Media: Parches con casos bajos o medios, o daños superficiales Alta: parches con daños de severidad alta, parches de escombro o de recebo. Parches mayores a 20 m² no se registran; En los parches ramificados o de servicios públicos, se cuentan las ramificaciones y no el parche principal, siempre y cuando estén en buenas condiciones.</p>		<p>Otras fallas (OF) Contadas para severidad baja. Incluyen vegetación, marcas de maquinaria o huellas de neumático, apiques, agujeros de palos empotrados, cortes de pulidora o disco, tratamientos superficiales, remiendos, morros de concreto o asfalto, fisuras aisladas menores a 30 cm de rango bajo, reductores de velocidad (3 severidades)</p>

	<p>Desgaste superficial (D) Baja: Rugosidad promedio de hasta 3 mm Media: Rugosidad entre 3 mm y 1 cm generada por los agregados expuestos. Alta: Rugosidad mayor a 1 cm, con tendencias a desprendimiento del agregado grueso.</p>		<p>Pérdida de agregado (P) Baja: Desprendimiento del agregado grava con separaciones mayores a 15 cm. Media: las distancias entre desprendimientos están entre 5 y 15 cm. Alta: las distancias entre las pérdidas son menores a los 5 cm.</p>
	<p>Casos especiales (ESP) Para esta metodología, se registran los casos especiales, con estos criterios: Baches con profundidades superiores a 10 cm; baches con extensiones mayores a los 3 m²; baches de formas bastante irregulares como en la figura; baches extensos con reparaciones rudimentarias de escombros; hundimientos con profundidades mayores a 10 cm; complejidades de casos de grietas en bloque o piel de cocodrilo, hundimientos, desportillamientos y vegetación en la misma área; agrupación de varios casos patológicos cercanos muy severos, de un mismo tipo de caso bastante reiterado dentro del tramo, que se cuenta como un caso especial en lugar del conjunto de casos.</p>		
<p>PAVIMENTO RÍGIDO (INVIAS, 2006)</p>			
	<p>Grieta de esquina (GE) Baja: abertura menor a 3 mm; una sola grieta divide la esquina. Media: abertura entre 3 mm y 1 cm. Alta: aberturas mayores a 1 cm, o una grieta en bloque dentro de la esquina.</p>		<p>Grieta longitudinal (GL) Baja: abertura menor a los tres milímetros. Media: abertura entre 3 y 10 mm Alta: abertura mayor a 1 cm. Extensión: máximo hasta 4 m.</p>

	<p>Grieta transversal (GT) Extensiones y severidades iguales a las grietas longitudinales.</p>		<p>Grieta en extremo de pasador (GEP) Extensiones y severidades iguales a las grietas longitudinales.</p>
	<p>Grieta en bloque (GBL) Son de severidad alta. Si las aberturas son menores a 2 mm, el caso se divide en casos individuales de fisuras bajas. Se cuenta una por losa, si la losa tiene un área entre 3 y 10 m²; en losas mayores se puede contar más de un caso; en losas menores, se cuenta un caso por cada dos o más losas vecinas.</p>		<p>Bache (BCH) Baja: profundidad menor a 3 cm Media: profundidad entre 3 y 6 cm Alta: profundidad mayor a 6 cm, con o sin exposición de la capa granular, o pérdida de algún bloque fracturado de la losa.</p>
	<p>Escalonamiento longitudinal y transversal (ESC) Baja: Desnivel menor a 1 cm Media: Desnivel entre 1 y 3 cm Alta: Desnivel mayor a 3 cm.</p>		<p>Levantamiento pedazos de losa (LEV) Baja: Levantamiento menor a 5 mm Media: Levantamiento de la losa entre 5 mm y 3 cm. Alta: la parte más alta del bloque fracturado se eleva a más de 3 cm.</p>

	<p>Parche (PCH) Baja: Parches en buenas condiciones Media: Parches con casos bajos o medios, o daños superficiales Alta: parches con daños de severidad alta, parches de escombros o de recebo. En los parches de servicios públicos, se cuenta uno por losa, si presenta algún daño que lo considere en severidad media.</p>		<p>Hundimiento (HUN) Baja: Profundidad menor a 2 cm Media: Profundidad entre 2 y 4 cm Alta: Profundidad mayor a 4 cm</p>
	<p>Vegetación (VEG) Siempre se cuenta como caso de severidad baja. Se cuenta linealmente con una extensión de hasta 0,5 m en juntas. Se cuenta por área aferente con un radio aproximado de 20 cm, para vegetaciones sobre grietas.</p>		<p>Otras fallas (OF) Son de severidad baja. Incluyen marcas de maquinaria, vehículos o de huellas de profundidad mayor a 1 cm; cortes de disco o pulidora; morros de concreto o asfalto; grietas y fisuras menores a 30 cm de forma aislada; reductores de velocidad (3 severidades).</p>
	<p>Desintegración (DI) Baja: Rugosidad menor a 3 mm Media: Rugosidad entre 3 y 10 mm Alta: Rugosidad mayor a 1 cm, en el cual se acentúan las cavidades entre los agregados gruesos.</p>		<p>Descascaramiento (DC) Baja: Desprendimientos de profundidades menores a 5 mm Media: Desprendimientos entre 5 y 15 mm de profundidad. Alta: Desprendimientos mayores que 15 mm</p>

	<p>Separación de juntas (SJ) Las juntas se separan si en medio de ellas hay arena, tierra o no hay nada.</p> <p>Baja: Separación menor a 1 cm Media: Separación entre 1 y 2,5 cm Alta: Separación superior a los 2,5 cm.</p>		<p>Deterioro del sello (DS) Evaluado por porcentaje de daños por dimensión lineal. En sellos de mortero, madera o alquitrán, se estima el daño como desportillamiento, pérdida o crecimiento de musgo dentro del sello.</p> <p>En sellos de mampostería, se estima como fracturamiento, pérdida parcial o desgaste de la mampostería.</p>
	<p>Desportillamiento (DP) Observado en juntas y grietas.</p> <p>Baja: Radio promedio de desportillamiento menor a 1 cm. Media: Radio promedio de desportillamiento entre 1 y 4 cm. Alta: Radio de desportillamiento superior a los 4 cm.</p>		<p>Casos especiales (ESP) Baches de extensión mayor a los 2 m²; baches de más de 10 cm de profundidad; Hundimientos superiores al 15% del diámetro medio del caso, si el diámetro supera 1 m; Casos complejos de grietas en bloque con borde desportillado, vegetación y asentamiento dentro de la misma área.</p>
PAVIMENTO ARTICULADO (HIGUERA Y PACHECO, 2009)			
	<p>Abultamiento (ABU) Baja: elevación menor a 2 cm Media: elevación entre 2 y 5 cm Alta: elevación mayor a 5 cm.</p>		<p>Ahuellamiento (AHU) Contado si es longitudinal y supera los 2 m de longitud, de lo contrario se toma como hundimiento.</p> <p>Baja: desnivel menor a 2 cm Media: desnivel entre 2 y 5 cm Alta: desnivel mayor a 5 cm.</p>

	<p>Hundimiento (HUN) Baja: desnivel menor a 2 cm Media: desnivel entre 2 y 5 cm Alta: desnivel mayor a 5 cm.</p>		<p>Escalonamiento de adoquines (ESCA) Baja: desnivel menor a 0,5 cm Media: desnivel entre 0,5 y 1 cm. Alta: desnivel mayor a 1 cm.</p>
	<p>Escalonamiento de bordes (ESCB) Baja: Desnivel menor a 5 mm Media: Desnivel entre 5 mm y 3 cm. Alta: Desnivel mayor a 3 cm.</p>		<p>Desplazamiento de juntas (DJU) Baja: El corrimiento de las vetas es menor a 1 cm. Media: corrimiento de las vetas entre 1 y 4 cm. Alta: corrimiento de las vetas mayor a 4 cm.</p>
	<p>Fracturamiento de adoquines (FRA) Baja: Fracturamiento aislado, entre 3 y 15 adoquines vecinos o ubicados dentro de 1 m² aferente. Media: Fracturamiento más extendido, con adoquines desportillados y pérdida de trozos. Alta: hay desportillamiento general, incluso levantamiento o pérdida completa de las unidades.</p>		<p>Grietas en confinamientos (FCI) Baja: Fisuras menores a 3 mm, de formas aisladas. Media: Fisuras mayores a 3 mm, o menores si configuran una grieta en bloque. Alta: Fisuras en bloque acompañadas de desportillamiento y/o desintegración del concreto.</p>

	<p>Vegetación (VEG) Baja: vegetación presente dentro de las juntas. La agrupación existente a 30 cm a la redonda se cuenta como un caso. Media: La vegetación se expone sobre los adoquines. Alta: La vegetación ha levantado los adoquines.</p>		<p>Otras fallas (OF) Con la poca variedad de casos patológicos en este material, hay variedad muy poca de otros casos, que incluyen parches y sellamientos de aberturas de junta con mortero.</p>
	<p>Pérdida de arena (PA) Baja: profundidad media de vacío entre adoquines entre 5 y 15 mm Media: profundidad de vacío entre 15 y 30 mm Alta: profundidad del vacío mayor a 30 mm o 3 cm.</p>		<p>Desgaste superficial (DSU) Baja: Pulimento generalizado en adoquines de arcilla; rugosidad menor a los 3 mm en adoquines prefabricados. Media: Rugosidad entre 3 y 8 mm en adoquines prefabricados de concreto. Alta: Rugosidad mayor a 8 mm, y/o pérdida de partículas gruesas.</p>
	<p>Juntas Abiertas (JA) Baja: Separaciones menores a 5 mm Media: Separaciones entre 5 y 10 mm Alta: Separaciones mayores a 10 mm</p>		<p>Casos especiales (ESP) Se limitan a pérdidas excesivas de los adoquines, que conllevan a que los demás elementos se desplacen, y haya mayor exposición de las capas base a la intemperie; y a hundimientos cuya flecha supere el 15% del diámetro del caso, si el diámetro es mayor a 1,5 m.</p>

ANEXO E: DESCRIPCIÓN DE SECTORES Y DE LA MUESTRA

Tabla 31: Descripción de los sectores de estudio

SECTOR	LOCALIZACIÓN	BARRIOS PRINCIPALES	USO DEL SUELO	VIAS PRINCIPALES
A	Zona sur de la ciudad	La Florida, San Francisco, Ciudad Jardín, Bolívar, Triunfo, Los Hongos y Surinama.	Uso residencial predominante; uso comercial a gran escala (Plaza del sur), y a escalas menores (estaciones de servicio, hoteles, talleres de mecánica, ferreterías, autoservicios y tiendas)	Vía a Bogotá hasta Los Hongos; Vía que comunica los barrios Florida y San Francisco; Avenida Suárez Rendón desde la estación Esso Los Hongos; Calle 3A y carrera 14 que pasan por Surinama y Bolívar; Vía a Soracá que recorre el barrio San Francisco.
B	Zona suroriental	Coorservicios, Sol de oriente, Bochica, San Antonio, Jordán y Hunza	Uso residencial predominante, uso comercial a pequeña escala (tiendas, supermercados y panaderías), y uso institucional a pequeña escala (colegios).	Avenida Oriental, Salida a Soracá en el sector del coliseo San Antonio, Carrera 4 (comunica los barrios Coorservicios, Sol de oriente, Bochica y San Antonio), Calle 12 desde la avenida oriental hasta el barrio San Antonio. Carrera 5 desde la calle 12 hasta la avenida 15.
C	Zona suroccidental, entre sectores A y D.	Libertador Alto, Libertador Bajo, Los Andes, Mirador Escandinavo, Barrio Obrero.	Uso residencial predominante; uso comercial moderado (talleres de mecánica automotriz, almacenes de repuestos, restaurantes típicos, distribuidoras de productos), y uso comercial a baja escala a nivel residencial.	Avenida Suárez Rendón (Carrera 11), Calle 3A (en el sur), Calle 9 (en el norte), Carrera 15 desde Los Andes hasta el Libertador.
D	Zona central, al suroccidente del Centro Histórico.	Paraíso, Las Américas, Suárez, Aquimín, Centenario y Ricaurte.	Uso residencial predominante; uso institucional moderado (Colegio INEM, Colegio de Fátima, Universidad Juan de Castellanos); uso comercial moderado (Almacén Paraíso, tiendas y supermercados de baja gama, estación Biomax)	Carrera 11, Calle 9 (al sur), Avenida Colón, Carrera 15, Calle 12 entre carreras 9 y 11.
E	Centro Histórico de Tunja entre sectores D e I, comprendido en la zona suroccidental de la	Plaza de Bolívar, Bosque de la República, Santa Bárbara y El Topo.	Uso comercial e institucional predominantes (Institucional: Alcaldía, Gobernación, Templos, Colegio de Boyacá, Colegio del	Carrera 9 (al oriente), calle 19, carrera 11, carrera 12, calle 18, calle 17 al occidente desde el centro comercial Lumol, carrera 14.

	intersección de la carrera 9 y la calle 20.		Rosario, Universidad Santo Tomás, Ancianato, Empresa de Energía, entre otros; Comercial: Bancos, Almacén Éxito, San Andresito, cacharrerías, ferreterías, almacenes de ropa, parqueaderos); uso recreativo (parques); uso residencial moderado.	
F	Centro Histórico de Tunja, entre la carrera 9 y la Avenida Oriental.	Consuelo, Centro Histórico, Terminal de transportes, Parque Pinzón, Pila del Mono y barrio San Ignacio.	Uso residencial predominante; uso institucional moderado (Palacio de Justicia, Primera Brigada, Biblioteca Patiño Roselli, UPTC Salud, Bomberos, Catedral, Iglesia Santa Clara, Universidad Antonio Nariño); uso comercial a una escala más baja (CC. 450 años, CC. Villa Real, restaurantes), a pesar de la confluencia vehicular en el terminal de transporte.	Carrera 9 (al occidente), Avenida Oriental, Carrera 8, Carrera 7 hasta el terminal, Calle 24, Calle 16.
G	Zona oriental entre sectores B y H.	Los Patriotas, Xativilla, Barrio Este, Viviendas de interés social	Uso residencial predominante; uso comercial a pequeña escala a nivel residencial; uso institucional no destacado (Universidad Nacional Abierta y a Distancia).	Avenida Oriental, Salida a Soracá desde el terminal de transportes, Calle 18 desde avenida oriental.
H	Zona oriental entre sectores G y M	Fuente Higueras, El Dorado, San Luis, Batallón Simón Bolívar.	Uso residencial predominante; uso comercial a escala media (tiendas y supermercados de baja gama); uso institucional moderado (Batallón, Distrito Militar y Cárcel Municipal)	Avenida Oriental, Salida a Chivatá (Calle 23) desde avenida oriental, Carrera 2 que conecta la calle 23 con el viaducto y la avenida universitaria.
I	Centro Histórico entre sectores E,F y K.	Maldonado, Las Nieves, Plazoleta San Francisco, Parque Santander, Plaza Real.	Usos residencial e institucional a gran escala (Institucional: Hospital San Rafael, Colegio Salesiano, Colboy Integrada, Funeraria San Francisco, Cementerio Central, Clínicas Saludcoop y Colombiana de Salud); uso comercial moderado (Plaza Real, Hotel Hunza, bodegas,	Avenida Maldonado, Avenida Oriental, Carrera 9, Avenida Colón, Carrera 10, Calle 25, Carrera 12.

			talleres de motos, restaurantes, y supermercados de baja gama).	
J	Zona occidental de la ciudad, al oeste del sector K	Milagro, Kennedy, Cojines del Zaque, Altamira.	Uso residencial predominante; uso comercial a baja y mediana escala (tiendas y supermercados de baja gama). Uso institucional no destacado (Casa de Justicia, Colegio Suárez Rendón y patios de la Secretaría de Tránsito)	Transversal 19 (Vía a Villa de Leyva), que comunica los principales barrios. Calle 19, como entrada al barrio Kennedy.
K	Zona central occidental, entre sectores I y J.	La Fuente, La Calleja, San Diego, Jorge Eliécer Gaitán, Santa Lucía y ¿el Carmen?	Uso residencial predominante; uso comercial a baja y mediana escala a nivel residencial; uso institucional no destacado (Clínica de Los Andes, Colegio La Presentación, Secretaría de Salud, entre otros).	Vía a Villa de Leyva, Carrera 16 a lo largo del sector, Transversal 11 desde la avenida Maldonado, Calle 32, Diagonal 33 y calle 36A.
L	Zona noroccidental entre sectores K y N	La María, UPTC, Los Rosales, Los Cristales, San Rafael, Colinas del Norte y José Joaquín Camacho.	Uso residencial predominante unifamiliar y de torres; usos comercial e institucional moderados con cierto predominio (Institucional: UPTC, Escuela Normal de Varones, Escuela Normal Femenina; Comercial: CC La Sexta, gimnasios, cafeterías, bares, restaurantes sobre avenida norte); uso recreativo no destacado (Parque Recreacional).	Salida a Bucaramanga desde Glorieta Norte, Avenida Norte, Calle 45 entre vía a Monquirá y barrio San Rafael, Carrera 8, Calle 49, Calle 46.
M	Zona nororiental entre sectores H y O	Santa Inés, Remansos de Santa Inés, 15 de Mayo, María Fernanda, Mesopotamia, Las Quintas, Aranjuez y Ciudadela Comfaboy.	Uso residencial predominante de vivienda unifamiliar, y edificaciones en algunos puntos; uso comercial a gran escala (Unicentro, CC. Centro Norte, Makro, Estadio La Independencia, Bares, Cigarrerías, Restaurantes y puntos de comidas rápidas); uso institucional moderado (Casa del Gobernador, Indeportes, Colboy Sección Londoño, Remonta Policía Nacional, Campus USTA,	Avenida Norte (al occidente), Avenida Olímpica, Avenida Universitaria, Calle 41, Calle 49.

			Clínicas Especializadas en Las Quintas).	
N	Zona nororiental entre sectores L y P	La Granja, Prados del Norte, Santa Rita, Villa Luz, Santana y Asís.	Uso residencial predominante; uso comercial a gran escala (Plaza del Norte, Bavaria, Placita Campesina, Concesionarios, Bodegas, Talleres, Restaurantes, Bares) y a pequeña escala a nivel residencial. Uso institucional no destacado (IRDET, Corpoboyacá, Empresa de Energía de Boyacá)	Avenida Norte, Carrera 3 por la plaza del Norte, Calle 59, Calle 60 (Villa Luz), Calle 55 (Prados del Norte), Calle 54 (La Granja).
O	Avenida Universitaria conectando los sectores M y Q	Altagracia y La Villita.	Usos del suelo futuramente definidos. Presencia moderada de sectores residenciales de estrato alto y de uso institucional (Saludcoop, Colegio Cristo Rey, Estación de Bomberos)	Avenida Universitaria.
P	Zona Norte, al occidente de la Avenida Norte.	El Nogal, Balcones del Norte, Manantial del Norte y Coompes.	Uso residencial moderado por la tasa de predios y lotes. Usos moderados comerciales (Bares y Discotecas, Estación de servicio Mobil de Los Muiscas, ferreterías) e industriales (pequeñas fábricas y bodegas).	Avenida Norte, Calle 75 (Manantial del Norte).
Q	Zona Norte, al oriente de la Avenida Norte.	Los Muiscas, Suamox, Capitolio, Coeducadores, Arboleda, Balcones de Terranova y Altos de Canapro.	Uso mixto (residencial y comercial, para bienes y servicios del común, y para arriendo de habitaciones), Uso comercial moderado (CC. Río, comidas rápidas, restaurantes, cafeterías, papelerías y supermercados de baja gama), uso institucional moderado (Uniboyacá, Medilaser, ITBOY, Colegio Andino, Colegio de Los Ángeles, Colegio Emiliani, Gimnasio Campestre, Jardines infantiles)	Avenida Norte, Diagonal 66 (Muiscas), Calle 67, Carrera 2 Este (Uniboyacá).

Tabla 32: Localización de los tramos evaluados

SECTOR A (16 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
A47	Calle 8B sur desde carrera 4 este al occidente hasta 100 m	Ciudad Jardin
A89	No disponible	San Francisco
A98	Carrera 6 entre calles 7 Sur y 8 Sur , y calle 7 Sur desde carrera 6 al occidente hasta 17 m	San Francisco
A112	Diagonal 6 entre calles 5 y 6 sur. Calle 5 sur desde diag. 6 al norte hasta 42 m	San Francisco
A121	Calle 6D desde carrera 5B al occidente hasta 100 m	San Francisco
A212	Calle 7 Sur entre carreras 9 y 9A. Carrera 9 desde calle 7 Sur al sur hasta 64 m	San Francisco
A250	Calle 6S desde carrera 13 Sur, al oriente hasta 100 m	Plaza del sur
A256	Carrera 13 Sur desde calle 7 Sur, al sur hasta 100 m	Plaza del sur
A319	Carrera 12A desde calle 2B al sur hasta 100 m	Surinam
A320	carrera 14 Sur desde calle 1 Sur, al sur hasta 100 m	Bolivar
A340	Carrera 16 Sur desde calle 3S al norte hasta 100 m	Bolivar
A359	Cra 16 entre calle 1 y calle 1A, y calle 1A desde cra 16 al oriente hasta 52 m	Bolivar
A361	Calle 1 desde cra 16 al oriente hasta 100 m	Bolivar
A501	Carrera 9D desde calle 1A al sur hasta 100 m	La Florida
A506	Calle 1 desde carrera 9D al oriente hasta 100 m	La Florida
A507	Cra 9 desde calle 1 al sur hasta 94 m	La Florida
SECTOR B (14 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
B40	Calle 4A desde carrera 5A al oriente hasta 100 m	Sol de oriente
B53	Carrera 4E desde calle 3B al norte hasta 100 m	Sol de oriente
B188	Calle 14 desde carrera 5 al occidente hasta 100 m	Hunza
B191	Calle 14 desde avenida oriental, al oriente hasta 100 m	Hunza
B204	Carrera 5B desde calle 14 al sur hasta 100 m	Hunza
B218	Carrera 5 desde "Y" de calle 13 al norte hasta 100 m	Hunza
B231	Carrera 6 desde calle 12B al norte hasta 100 m	Hunza
B236	Carrera 6 desde calle 12B al sur hasta 100 m	Hunza
B246	Calle 12 desde carrera 5 al occidente hasta 100 m	Jordán
B329	Calle 6A desde carrera 3C al oriente hasta 100 m	Portal de otoño
B415	Carrera 4 desde calle 3A al norte hasta 100 m	Cooservicios
B525	Calle 4C desde carrera 3D al oriente hasta 100 m	Cooservicios
B542	Calle 5 desde carrera 5B al oriente (carril occidente-oriente) hasta 100 m	Sol de Oriente
B608	Calle 8 desde carrera 3B al oriente hasta 100 m	San Antonio
SECTOR C (9 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
C46	Calle 4 desde carrera 16 al occidente hasta 100 m	Libertador alto
C63	Calle 7 desde carrera 10 al oriente hasta 100 m	Obrero
C78	Calle 5 desde carrera 13 al oriente hasta 100 m	Libertador bajo

C110	Carrera 17 desde calle 7A al sur hasta 100 m	Libertador alto
C151	Calle 8 entre carreras 12 y 13	Libertador bajo
C192	Carrera 17B desde calle 8 al norte hasta 100 m	Escandinavo
C203	Calle 7G entre carreras 18 y 19	Escandinavo
C234	Calle 7B entre carreras 18 y 19	Escandinavo
C265	Calle 7a desde carrera 17 al oriente hasta 100 m	Libertador alto
SECTOR D (10 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
D36	Calle 10 entre carreras 9 y 10	Suárez
D68	Calle 11 desde carrera 11 al noroccidente hasta 100 m	U. Juan de Castellanos
D85	Calle 9A desde carrera 17 al oriente hasta 100 m	Paraíso
D110	Carrera 15A desde calle 12 al sur hasta 100 m	Paraíso
D137	Calle 15 desde carrera 18 al oriente hasta 100 m	Ricaurte
D161	Calle 16A desde diagonal 16B al oriente hasta 100 m	Ricaurte
D195	Carrera 15 desde calle 17 al sur hasta 100 m	Centenario
D202	Calle 15 desde carrera 14 al occidente hasta 100 m	Las américas
D209	Calle 12A desde carrera 14 hasta carrera 14A y carrera 14A desde calle 12A al norte hasta 28 m	Las américas
D235	Carrera 12 desde calle 12 al norte hasta 100 m	Las américas
SECTOR E (7 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
E22	Calle 15 desde carrera 11 al oriente hasta 100 m	Bosque de la República
E35	Calle 15 desde carrera 11 al occidente hasta 100 m	Nueva Sta. Bárbara
E36	Calle 16 desde carrera 12 al oriente hasta 100 m	Centro histórico
E72	Carrera 11 desde calle 17 al sur hasta 100 m	Santa Bárbara
E88	Carrera 11 desde calle 18 al norte hasta 100 m	Éxito
E114	Carrera 14A desde calle 18 al sur hasta 100 m	El Topo
E129	Carrera 13A desde calle 19 al norte hasta 100 m	Plaza Real
SECTOR F (7 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
F8	Avenida oriental (calzada norte-sur) desde calle 14D al sur hasta 100 m	Avenida Oriental
F15	Carrera 8 desde calle 13 al sur hasta 100 m	San Laureano
F120	Calle 21 desde carrera 8 al oriente hasta 100 m	Centro histórico
F149	Calle 19 desde carrera 9 al oriente hasta 100 m	Gran pollo
F154	Carrera 7 desde calle 18 al norte hasta 100 m	Santa Clara - Terminal
F177	Carrera 7 desde calle 17 al sur hasta 100 m	Terminal
F185	Carrera 8A desde calle 13A al norte hasta 100 m	Consuelo
SECTOR G (15 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
G49	Carrera 2 este desde calle 13A al norte hasta 100 m	Xativilla
G61	Calle 15 Calzada occidente-oriente desde carrera 1A este, al occidente de 3,5 m a 103,5 m	Xativilla

G64	Carrera 1 este desde calle 13 al norte de 64,3 m hasta 164,3 m	Mirador de oriente
G76	Carrera 1 desde calle 16A al sur hasta 100 m	Patriotas
G94	Carrera 3 desde calle 17B al sur hasta 100 m	Patriotas
G108	Carrera 3A desde calle 17G al sur hasta 100 m	Portal de oriente
G117	Calle 15A desde carrera 4 al oriente hasta 33 m y al oeste hasta 67 m	Patriotas
G140	Calle 15 Calzada oriente-occidente desde carrera 1 al oriente hasta 100 m	Patriotas
G181	Calle 17D desde carrera 2A este al occidente hasta 100 m	Barrio Este
G189	Calle 17D desde carrera 1 al oriente hasta 48 m y al oeste hasta 52 m	Barrio Este
G194	No disponible	Barrio Este
G260	Calle 18 desde carrera 1B al occidente hasta 100 m	Prados de Alcalá
G264	Carrera 1C desde calle 19 al sur hasta 100 m	Prados de Alcalá
G282	Calle 19 desde avenida oriental al oriente hasta 100 m	El Rodeo
G312	Avenida oriental Calzada Sur-Norte desde calle 21 al norte hasta 100 m	Avenida Oriental
SECTOR H (7 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
H34	Carrera 3 desde calle 24 al sur hasta 100 m	Conjunto Fenix
H43	Carrera 2A desde calle 24 al sur hasta 100 m	Fuente Higueras
H75	Vía a Toca desde carrera 2 este al occidente de 10 m a 110 m	El Dorado
H81	Carrera 6 este desde diagonal 27 al norte hasta 100 m	El Dorado
H91	Carrera 8 este desde calle 27A al norte hasta 100 m	El Dorado
H105	Carrera 8B este entre calle 27A y diagonal 27A, y diagonal 27A desde carrera 8B este, al norte hasta 76 m	El Dorado
H159	Carrera 2 desde carrera 23 al norte, de 300 m a 400 m	Empalme Viaducto
SECTOR I (9 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
I14	Carrera 15 desde calle 22 al sur hasta 100 m	Popular
I30	Carrera 12 desde calle 21 al sur hasta 100 m	Funeraria San Francisco
I64	Avenida colón desde calle 24 al suroccidente hasta 100 m	Parque Santander
I65	Carrera 10 A desde calle 24 al sur hasta 100 m	Parque Santander
I82	Calle 22 desde carrera 12 al occidente hasta 100 m	Parque Santander
I110	Avenida oriental carril Norte-Sur desde separador de viaducto al norte de 76 m a 176 m	Avenida Oriental
I153	Diagonal 29 desde transversal 9 al sur hasta 100 m	Maldonado
I162	Calle 29 desde carrera 7 al occidente hasta 100 m	Maldonado
I223	Calle 29 desde avenida maldonado al occidente hasta 100 m	Estación Esso Maldonado

SECTOR J (11 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
J77	Calle 20 desde transversal 16 al oriente y transversal 15B hasta	Kennedy
J96	Transversal 16 desde calle 22 al sur hasta 100 m	Cojines del Zaque
J101	Calle 20 desde transversal 18 al occidente hasta 100 m	Kennedy
J138	Transversal 19 desde calle 23 al norte hasta 100 m	Vía a Villa de Leyva
J192	Carrera 23 desde calle 26A al norte hasta 100 m	Altamira
J209	Transversal 21 desde carrera 21 al oriente hasta 100 m	Altamira
J231	Transversal 19 desde calle 28 al norte hasta 100 m	Vía a Villa de Leyva
J237	Carrera 19A desde calle 28 al norte hasta 100 m	Altamira
J250	Carrera 21 desde calle 30A al sur hasta 100 m	Altamira
J268	Calle 31 desde transversal 20 al occidente hasta 100 m	Altamira
J291	Vía a Villa de Leyva desde transversal 19 al occidente de 132 m a 232 m	Vía a Villa de Leyva
SECTOR K (19 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
K7	Calle 23 desde carrera 14 al occidente hasta 100 m	Popular
K13	Calle 23 desde carrera 12 al occidente hasta 100 m	Popular
K32	Carrera 16 desde calle 23 al norte hasta 100 m	El Carmen
K53	Carrera 17 desde calle 26 al norte hasta 100 m	El Carmen
K74	Calle 25 desde carrera 12A al occidente hasta 100 m	Santa Lucía
K159	Calle 32 desde transversal 17E al oriente hasta 100 m	Fuente
K170	Calle 32 desde carrera 16 al occidente hasta 100 m	San Diego
K175	Calle 28 desde carrera 16 al oriente hasta 100 m	20 de Julio
K203	Calle 30 desde carrera 11A al occidente hasta 100 m	Jorge Eliecer Gaitán
K213	Carrera 11A desde calle 30A al sur hasta 100 m	Jorge Eliecer Gaitán
K245	Carrera 6 desde transversal 11 al norte hasta 100 m	Maldonado
K260	Calle 32 desde transversal 11 al norte de 67,5 m a 167,5 m	Gaitán - Vía a Bucaramanga
K264	Carrera 16 (Norte - Sur) desde calle 35 al sur hasta 100 m	San Diego
K293	Calle 36D entre calles 15A y 15C y carrera 15B desde calle 36D al sur hasta 50 m	La Calleja
K337	Calle 36 desde carrera 16C al oriente hasta 100 m	Fuente
K352	Calle 36C desde transversal 17 al oriente hasta 100 m	Fuente
K364	Carrera 16C desde calle 36A al sur hasta 100 m	Fuente
K401	Calle 35 desde transversal 17D al oriente hasta 100 m	Fuente
K460	Transversal 16D desde calle 32 al norte hasta 100 m	Fuente
SECTOR L (16 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
L13	Vía a Bucaramanga desde Glorieta (K1+225 a K1+325)	Vía a Bucaramanga
L36	Diagonal 41 desde transversal 17A al oriente hasta 100 m	La María
L76	Avenida Norte (Norte-Sur) desde calle 36 al sur hasta 100 m	Avenida Norte
L82	Carrera 7 desde calle 39 al norte hasta 100 m	Villa Universitaria
L114	Carrera 7 desde calle 42 al norte hasta 100 m	Los Rosales
L127	Carrera 10 desde calle 42 al norte hasta 100 m	Los Rosales
L134	Calle 44 desde carrera 6C al occidente hasta 100 m	Canapro

L140	Avenida Norte desde calle 48 al sur hasta 100 m	Olímpica
L151	Carrera 7 desde calle 47 al norte hasta 100 m	Los cristales
L158	Calle 46A desde avenida norte al occidente hasta 100 m	Los cristales
L178	Carrera 8 desde calle 45 al sur hasta 100 m	Los cristales
L208	Calle 49C desde carrera 9 al occidente hasta 100 m	Los Heroes
L224	Carrera 13 desde carrera 14A al sur hasta 100 m	Normal Femenina
L242	Calle 47 desde carrera 16 al occidente hasta 100 m	Colinas del Norte
L252	Carrera 16 desde calle 49 al norte hasta 100 m	Colinas del Norte
L291	Carrera 6 (paralela a avenida norte) desde calle 44 al norte hasta 91 m	Los Rosales
SECTOR M (24 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
M6	Avenida oriental (Sur-Norte) desde glorieta norte al sur hasta 100 m	Avenida Oriental
M18	Carrera 5 desde calle 29 al norte de 105 m a 205 m	Indeportes
M34	Avenida olímpica desde carrera 2 al oriente de 51,5 m a 151,5 m	Estadio La Independencia
M63	Calle 41 desde avenida universitaria al oriente hasta 100 m	Aranjuez
M94	Calle 42 desde carrera 1F al oriente hasta 100 m	Santa Ines
M108	Calle 41A desde calle 1B al occidente hasta 100 m	Santa Ines
M155	Calle 42 entre calles 3A y 2B y carrera 2B desde calle 42 al norte hasta 30 m	Santa Ines
M175	Carrera 5 desde calle 41 al sur hasta 100 m	Santa Ines
M192	Calle 40 desde carrera 3A al occidente hasta 100 m	Santa Ines
M204	Calle 41 desde carrera 5 al oriente hasta 100 m	Santa Ines
M222	Carrera 5A desde calle 41 al norte hasta 100 m	Santa Ines
M238	Carrera 4 desde calle 43 al norte hasta 100 m	Santa Ines
M328	Transversal 4A desde calle 46 al norte hasta 100 m	Las Quintas
M331	Transversal 3A desde calle 46A al sur hasta 100 m	Las Quintas
M346	Carrera 2B desde calle 46 al norte hasta 100 m	Las Quintas
M381	Calle 49 desde carrera 3 al oriente hasta 100 m	Las Quintas
M423	Calle 48 desde carrera 1B Este al occidente hasta 100 m	Las Quintas
M426	Carrera 2 entre calles 47A y 48, y calle 48 desde carrera 2 al oriente hasta .. Metros	Las Quintas
M448	Avenida universitaria (Norte-Sur) desde calle 41 al norte de 27 m a 127 m	Avenida Universitaria
M485	Carrera 5 desde calle 35 al sur hasta 100 m	Mesopotamia
M509	Carrera 2A desde calle 35A al norte hasta 70 m y al sur hasta 30 m	Mesopotamia
M525	Carrera 3 desde calle 35 al norte hasta 100 m	Mesopotamia
M531	Calle 38A desde carrera 4A al oriente hasta 47 m y al occidente hasta 53 m	Mesopotamia
M534	Glorieta Casa del Gobernador costado oriental	Casa del Gobernador

SECTOR N (13 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
N23	Avenida norte (Norte-Sur) desde calle 59 al sur hasta 100 m	Avenida Norte
N33	Avenida norte (Norte-Sur) desde calle 64B al sur hasta 100 m	Avenida Norte
N52	Carrera 8 desde calle 53 al sur hasta 100 m	La granja
N67	Calle 54 desde avenida norte al occidente hasta 100 m	La granja
N151	Calle 54A desde carrera 11 al oriente hasta 100 m	Prados del norte
N164	Calle 54 desde carrera 8A al occidente hasta 100 m	Prados del norte
N190	Calle 55B desde carrera 8A al occidente hasta 100 m	Santa Rita
N243	Carrera 3 desde entrada IRDET al norte de 13 m a 113 m	Bavaria
N299	Calle 60 desde carrera 10 al oriente hasta 100 m	Villaluz
N351	Calle 60B desde carrera 9B al occidente hasta 100 m	Villaluz
N355	Calle 60A desde carrera 11 al oriente hasta 100 m	Villaluz
N378	Calle 62 desde carrera 13 al oriente hasta 100 m	Asis
N438	Calle 63 desde carrera 11 al oriente hasta 100 m	Asis
SECTOR O (16 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
O5-1	Av. universitaria (Norte-Sur) desde calle 58C de 23 m a 123 m	Colegio Cristo Rey
O5-2	Av. universitaria (Norte-Sur) desde O5-1 al norte hasta 100 m	Colegio Cristo Rey
O5-3	Av. universitaria (Norte-Sur) desde O5-2 al norte hasta 100 m	Colegio Cristo Rey
O5-4	Av. universitaria (Norte-Sur) desde O5-3 al norte hasta 100 m	Colegio Cristo Rey
O5-5	Av. universitaria (Norte-Sur) desde O5-4 al norte hasta 100 m	Colegio Cristo Rey
SECTOR P (6 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
P22	Calle 67 desde carrera 8 al occidente hasta 100 m	El Nogal
P27	Carrera 10 desde calle 67 al sur hasta 100 m	El Nogal
P91	Carrera 9 desde calle 78 al sur hasta 100 m	Balcones del Norte
P139	Calle 75 desde carrera 9A al oriente hasta 100 m	Manantial del Norte
P147	Calle 75 desde carrera 11A al oriente hasta 100 m	Manantial del Norte
P167	Calle 69 desde avenida norte al occidente hasta 100 m	Zona rosa
SECTOR Q (13 TRAMOS)		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN
Q79	Transversal 2 desde transversal 5 hasta diagonal 65A, y diagonal 65A desde transversal 2 al sur hasta 48 m	Muiscas
Q116	Diagonal 66 desde transversal 3 al occidente hasta 100 m	Muiscas
Q123	Diagonal 66A desde transversal 2A al occidente hasta 100 m	Muiscas
Q156	Diagonal 68 desde transversal 3 al occidente hasta 100 m	Muiscas
Q170	Diagonal 67A desde transversal 2 al occidente hasta 97 m	Muiscas
Q198	Transversal 1 este desde carrera 2 este al sur hasta 100 m	Medilaser
Q230	Transversal 0B desde diagonal 69B al sur, alrededor del parque hasta 100 m	Suamox
Q237	Transversal 0B desde diagonal 69 al norte hasta 100 m	Suamox
Q271	Calle 73 desde carrera 2G al oriente hasta 100 m	Coeducadores
Q341	Vía a Oicatá desde calle 78A al norte hasta 100 m	Vía a Oicatá
Q349	Carrera 1A este desde calle 78A al sur hasta 17 m y al norte hasta 83 m	Balcones de Terranova
Q359	Calle 79 desde carrera 0A este al oriente hasta 100 m	Balcones Terranova
Q426	Av. Norte (Sur-Norte) desde diagonal 68 al norte hasta 100 m	Avenida Norte

ANEXO F: BITÁCORA DE CAMPO

Tabla 33: Cronología de inspecciones de campo a los tramos.

FECHA	TRAMOS EVALUADOS	FECHA	TRAMOS EVALUADOS
20 de Junio 2014	A47, A112, A121, A89, A98, A212	4 de Agosto 2014	J237, J250, J268
21 de Junio 2014	A256, A250, A320, A359, A361, A340	6 de Agosto 2014	K53, K32
22 de Junio 2014	A507, A506, A501, A319	7 de Agosto 2014	K13, K7, K74, K401, K352, K364, K337, K293
24 de Junio 2014	B204, B218, B188, B191, B231	8 de Agosto 2014	K159, K460, K170, K264, K213
26 de Junio 2014	B542, B40, B53, B415, B525, B236, B246, B608, B329	9 de Agosto 2014	K175, K203, L13, L76, L82,
1° de Julio 2014	D68, D235, F15, F185, F8	10 de Agosto 2014	K245, K260, L127, L178, L114, L134, L291, L140
2 de Julio 2014	C203, C234, C192, D85, D110	13 de Agosto 2014	L242, L252, L224, L208, L36
19 de Julio 2014	D36, E22	14 de Agosto 2014	L158
20 de Julio 2014	F177, F154, F149, F120	15 de Agosto 2014	M426, M423, M381, M346, L151
22 de Julio 2014	C265, C110, C46, C78, C151	16 de Agosto 2014	M222, M204, M63, M448, M534, M328, M331, M238, M18, M6
23 de Julio 2014	D209, D202	17 de Agosto 2014	M155, M94, M108, M192, M175
24 de Julio 2014	D137, E36, E35, E114	18 de Agosto 2014	M34, M509, M525, M485, M531
25 de Julio 2014	D161, D195, E129	20 de Agosto 2014	N67, N52, N164, N151, N190
27 de Julio 2014	E72, E88	21 de Agosto 2014	N299, N355, N351, N438, N378
28 de Julio 2014	G76, G49, G61, G140, G64	22 de Agosto 2014	P91, P147, P139, P167, P22, P27
29 de Julio 2014	G194, G181, G189, G260, G264	24 de Agosto 2014	N33, N23, N243, O5-1, O5-2 O5-3, O5-4, O5-5
30 de Julio 2014	G117, G94, G108, G282, G312, I110, I153, I162, I223	29 de Agosto 2014	Q341, Q359, Q349, Q271
31 de Julio 2014	H105, H91, H81, H75, H43, H34	31 de Agosto 2014	Q426, Q79, Q116, Q198, Q230, Q237, Q170, Q156
1° de Agosto 2014	C63, J96, J77, J101, J192, J209	3 de Septiembre 2014	Q123
3 de Agosto 2014	I14, I82, I64, I65, I30, J138, J231, J291	18 de Diciembre 2014	H159 (Tramo Extra)

Fuente: Autor

ANEXO G: RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 34: Formato final de registro de datos de pavimentos flexibles y mixtos.

Código	A98			A212			A250			A319			A320			A340			A359			A361			A501			A506							
Longitud (m)	100			100			100			100			100			100			47			47			100			100							
Ancho (m)	8,40			6,68			9,16			4,90			5,3925			7,96			7,2			7,8			5,97			6							
Area (m2)	840,10			668,33			916			489,67			539,25			796,33			338,4			366,6			596,67			600							
TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A		
FL	1																											9	1						
FT							18	5		1																		3	2						
FLJ				4																								3	2						
FTJ										1																									
RCJ		3	2																										1	1					
FML																												1	2						
BOR																		1										3	1		1				
BLO	3	4	1				17	26		8					1	1					1							3	2			1			
COC	7	8		2			1	7	5	6	8	1			5	7		1	1									5	2		2	1	1		
POZ			1									1																							
FDC																																			
OND																															2	1			
ABU															1																				
HUN		1		6	1	1			3				1					4	3	1				3			3	3	1	1	1		1		1
AHU																																			
DCC								1	3	4	5				5	6	5	6	9	1	2	5					2	1				2			
BCH		4	1		2					5	7				1	6	1		3	2															
PCH	4	13	2	3	5	1	13	25	10	8	19	3	3		24	16	2	6	5		9	4					3	5	1	7	1	2			
OF	35			1						11											3						1				5				
TOTAL	50	33	7	16	8	2	49	64	21	43	40	5	4	0	0	39	40	9	15	18	3	14	10	3	36	20	3	18	6	4					
D		X		X			X					X				X					X		X			X				X	X				
P							X		X						X												X								
% COB	0,85			0,7			0,4			0,65			0			0,4			0,95			0,9			0,6			0,6							
ESP	0			0			1			2			0			1			0			0			0			0							

Fuente: Autor.

Código	A507			B53			B189			B191			B204			B218			B231			B236			B246			B329					
Longitud (m)	94			100			100			100			100			100			100			100			100			100					
Ancho (m)	6,02			6,00			5,75			5,39			4,49			6,98			5,77			5,53			7,73			6,11					
Area (m2)	565,57			600,00			575,00			539,25			448,50			698,00			576,67			553,33			772,50			611,00					
TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
FL										2	1													1									
FT			1																								3						
FLJ				1									3	5							5				2	11	6						
FTJ											1														1		4						
RCJ				1						1														3			2						
FML																																	
BOR																																	
BLO	5	1		1						2	1	1	2	1	7							2	3	4		4		6	16	3	13	5	
COC	1	2			3		1	1	4		4	1										3	9	7	1	6	3		5	4	1	9	1
POZ		1		2							2	1					1								3	2			1	1			
FDC																	1																
OND																																	
ABU																																	
HUN		1		6	4			7						1		9	2					3	2	4	1	5		7			1	4	2
AHU											5	13																					
DCC	19	6		9	2	4	2	2		1			18	5	1							2	9	4	3	5		2	2		9		
BCH			4		3	4							4	5	1							7	21	16	2	4	13	3	2	4		2	8
PCH	7	3	3		3	1	1	1		2		2	6	20	17							1	2	5	8	8	2	4	14	5	3	3	1
OF							14			12			6										7					4				11	
TOTAL	32	14	8	20	15	9	18	11	4	20	14	18	39	37	26	9	4	0	18	46	45	22	36	18	32	57	26	39	24	12			
D			X		X						X			X						X	X					X			X				
P		X					X																										
% COB	75%			40%			60%			40%			35%			0%			60%			75%			90%			50%					
ESP	4			1			1			1			0			0			8			4			1			2					

Código	B415			B525			B542			B608			C63			C234			C265			D68			D85			D110					
Longitud (m)	100			100			100			100			46,3			74,8			100			100			100			100					
Ancho (m)	5,57			3,51			5,48			6,40			6,61			2,82			6,11			6,66			5,47			4,63					
Area (m2)	557,00			351,33			548,00			639,50			306,04			210,94			611,33			666,00			546,50			463,33					
TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
FL											1		4	4	4				1	3	1			1									
FT			1										1	4	3		1						1	1									
FLJ			1		1	1					3	2										2	3	3		4			1				
FTJ																						1	3	3									
RCJ		1																						3	1	2			1				
FML															1																		
BOR											7										1			4									
BLO	2	2	1	2		2	2			1	23	11	1	4	2	1	4		9	12	2	5	23	14	3	6	3	6	13	5			
COC		2	11		1	1		2	1		4	10							6	3	2		1	3	3	19	10		19	16			
POZ			1	1	1						3		1										8	1		1							
FDC																																	
OND																																	
ABU																									1	1							
HUN	1	1		1	1												3					4	1				2		1	3			
AHU							5	8																									
DCC	2	4	2	15	7	3	3			2	2	2							3	3		8	5	1		1	1	3	12	3			
BCH	4	10	7	6	10	6					1	2					1	1		1	2		3	1		1	4		1	3			
PCH	2	2	3	3	6	35				3	22	17	11	10	1	12	8			6		3	10	4	7	16	1	4	9	4			
OF	4		6	11	2		7						6			13			5			10			6			6	1				
TOTAL	15	22	33	39	29	48	17	10	1	6	66	44	24	22	11	26	17	1	24	28	8	33	58	39	21	51	21	19	58	34			
D			X		X			X	X			X			X			X			X		X		X				X				
P																							X					X					
% COB	50%			100%			40%			70%			100%			50%			100%			70%			70%			95%					
ESP	15			4			0			2			0			0			9			0			0			2					

Código	D195			D209			D235			E22			E35			E36			E72			E88			E114			E129					
Longitud (m)	100			28			100			56,15			100			100			100			100			100			100					
Ancho (m)	8,05			6,40			6,84			7,92			6,73			6,08			4,01			4,87			6,43			7,62					
Area (m2)	805,33			179,20			683,50			444,43			673,00			608,00			401,33			487,00			643,33			761,50					
TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
FL	2	5	2							1	7		2	2						1	1									1			
FT	4	5	1								5					9	11	2															
FLJ										4																							
FTJ		2									1					2													2				
RCJ										2																							
FML																																	
BOR																																	
BLO	2	2									8		13	6		10	36	8			1	1	1	1		7	4	2					
COC											1					1	2	1								1	6	2					
POZ	2				1						1	1		2						1			3	1									
FDC																																	
OND																																	
ABU																3	3	5															
HUN							1							1					1	1	3		7	1		1	2	1			1		
AHU																			1		1												
DCC			1							3	2						1		9	5	1	29	2	3	3			8					
BCH												1				1	1			1			2			1	2						
PCH	1	3		1						2	8		11	5		5	10	2		1	1	3	4		7	15	4	7	1	1			
OF	8									12			8	2		3						2			5	1		2					
TOTAL	19	17	4	1	1	0	1	0	0	24	33	2	34	18	0	32	66	19	11	12	5	42	13	4	24	29	14	17	1	2			
D				X																X			X			X							
P																					X												
% COB	0%			100%			0%			0%			0%			0%			70%			60%			100%			0%					
ESP	0			0			0			0			0			0			0			0			1			0					

Código	F8			F15			F149			F154			F177			F185			G49			G61			G64			G76					
Longitud (m)	100			100			100			100			100			100			100			100			100			65					
Ancho (m)	6,70			4,44			5,67			5,96			5,80			5,14			6,02			7,12			6,99			5,51					
Area (m2)	670			444			566,5			596			580			514			602,00			712,00			698,50			357,93					
TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
FL	1			8	14	2		1	1	2					6	1	1	2		2		5	11	4									
FT	2	1		1	2			1	2	1	1		3	4					1														
FLJ							4	4		1	1		2		1			1				1											
FTJ							2	2	2	1	2	3																					
RCJ																																	
FML								1																									
BOR	1			1																													
BLO				2	3		1						7	7	7	4	1		7	2	2	8	31	9	11	4	1	5	16	1			
COC										1		1							2	4	1	1		4	2	3	3		9	9			
POZ				1			1	2								1	1	2							1	1							
FDC																																	
OND														2																			
ABU							1	1																									
HUN							2	1	1							5	1			1						2				3			
AHU																				3	7	3		6	1								
DCC							2	5	1	2			2	6		11	4			3	2		7	3	2								
BCH							4	3	1					1		4								5	2								
PCH				2			20	8	3	2	2		1	2		3	10	4	2	4			1		5	3		1	1	3			
OF	1			8	2	2	7			8			6			12			2			5			3			5					
TOTAL	5	1	0	23	21	4	44	29	11	18	6	4	21	26	9	40	21	6	16	13	3	26	52	20	29	27	9	11	26	16			
D	X			X			X			X			X			X			X			X			X								
P																X												X					
% COB	100%			80%			100%			90%			80%			90%			100%			100%			100%			100%					
ESP	0			0			0			0			0			1			0			1			1			2					

Código	H91			H105			H159			I14			I30			I64			I82			I110			I153			I162					
Longitud (m)	100			100			100			100			100			100			100			100			30			100					
Ancho (m)	7,99			5,96			7,11			9,12			6,24			9,27			7,95			5,96			4,95			5,71					
Area (m2)	798,5			596,33			711,00			912			624			927,33			795			596			148,5			571					
TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
FL	2	2											1	1								1	10					4	8	1			
FT													1	1		1	3	1	1	2	2												
FLJ																															11	1	
FTJ										1	1		3									1											
RCJ							2			2																							
FML																																	
BOR																			2														
BLO	3	24	17	5	11	2				6	1		2	1		6	35	31	9	40	28				6	1		1	3				
COC				1	13	1				3	1														10				9	2			
POZ				1	3											1	1								1	2		1	2	1			
FDC																																	
OND																																	
ABU																			15														
HUN						1				4	6																1		2	1			
AHU						7								2											5								
DCC		1		1	2					21	5	1	11	4	1																		
BCH		1	1	5	1					2	3	4				2		2	1	1								1	1	3			
PCH	1	2	1	1	2	4				3	16	8	2	6		5	17	11	2	11	16						1	14	24	3			
OF	3			25						1	1					8			5			7			3			1	4				
TOTAL	9	30	19	39	32	15	2	0	0	26	41	23	15	19	2	23	56	45	32	55	48	19	0	0	24	16	3	18	56	11			
D		X		X			X			X			X				X		X							X			X				
P				X				X													X												
% COB	80%			50%			40%			100%			90%			80%			30%			100%			100%			90%					
ESP	1			1			0			2			0			0			1			0			0			1					

Código	I223			J77			J96			J101			J138			J209			J231			J291			K7			K13					
Longitud (m)	100			24			100			97			100			100			100			100			100			100					
Ancho (m)	7,33			6,13			7,17			5,83			9,5			6,04			9			7,6			9,29			8,86					
Area (m2)	732,5			147,12			717			565,51			950			604			900			760			929,33			886					
TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
FL	6	10	1								1	1	3	1						1			2	1	1	1							
FT					1								1	1	1				2	7			1				2						
FLJ																				1										1			
FTJ					1															3					1	1			3	1			
RCJ																																	
FML																																	
BOR																										1				1			
BLO	4						1			5	10		8	15	6				10	25	5							4	3	1			
COC							3	6		13	12	2								2							1		9	7			
POZ							1				2						1									1							
FDC																																	
OND																																	
ABU																																	
HUN		2									1															1	1						
AHU																																	
DCC	13	2					5			3				1		19			5	12					6		2	11	4				
BCH	1	2								1		2	1			9	7	6							1	1	5	1	3	3			
PCH	4	2		3	3		5	5	2	6	1	1		2					3						3	1	2	11	4	1			
OF				1						6			4			6			12	1		2			5	2		15					
TOTAL	28	18	1	4	5	0	15	11	2	34	27	6	17	20	7	34	8	6	32	52	5	2	3	1	17	11	11	42	27	14			
D	X			X				X	X				X				X	X				X				X			X				
P													X				X	X				X					X						
% COB	100%			30%			75%			100%			100%			100%			90%			100%			60%			95%					
ESP	0			0			0			2			0			6			0			0			5			9					

Código	L82			L114			L127			L134			L140			L151			L158			L178			L208			L224					
Longitud (m)	100			53,5			100			100			100			100			100			100			100			100					
Ancho (m)	5,96			6,03			5,97			6,11			7,70			6,07			6,48			5,40			3,97			7,40					
Area (m2)	595,5			322,34			597			610,5			770			606,5			647,67			540			397			740					
TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
FL		1						4								2	4			1	2					2							
FT	1	1														5	3		1	5					1				2	2			
FLJ								1												15	2									5			
FTJ																			7	23	2									2			
RCJ												3																					
FML																				2													
BOR																																	
BLO	5	7		2	4		19	1		1	3								4	10	1		1		5				43	34			
COC		4	2	3	3		8	1												2	1		1		6	9	2						
POZ	4			1			1			1						1			1	3					4								
FDC																																	
OND																																	
ABU																														1			
HUN		4						3			1						1			2	2								1	3			
AHU																																	
DCC	2		1							10	1					13	2	2	5	5	2	16	5		3								
BCH	2	1	2							1	1	2					2	1		1	4	1	2	7				7	5	3			
PCH	9	28	1	5			25	3	1	6	6					9	7		5	8	2		3	3	4			1	2	1			
OF	7			6			13			17						7			13				44										
TOTAL	30	46	6	17	7	0	66	12	2	36	11	6	0	0	0	37	19	3	36	77	18	61	11	11	23	11	2	10	61	41			
D		X		X				X		X		X					X		X			X			X					X			
P														X								X				X							
% COB	100%			10%			80%			100%			100%			40%			90%			100%			100%			100%					
ESP	0			0			0			0			0			0			0			9			0			2					

Código	N23			N33			N52			N164			N190			N243			N299			N351			N355			N378					
Longitud (m)	100			100			58			100			100			100			100			100			100			100					
Ancho (m)	7,50			7,35			5,95			6,01			4,85			6,62			7,32			4,40			4,67			5,31					
Area (m2)	750			735			345,1			601			484,5			661,5			732			439,67			466,5			530,5					
TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
FL				1	2					5	12																						
FT										1	1					1						1											
FLJ																1	5																
FTJ																1	2																
RCJ																																	
FML																																	
BOR	10	12																															
BLO										3				2		8	13	4					1			2					2	5	2
COC											1						3	2															
POZ							1			1	1		1			1				3													
FDC																																	
OND																																	
ABU																																	
HUN																				1									1	1			
AHU																																	
DCC	5			1			1						3										14			13	1		7	3			
BCH																	2	1						1	2							1	
PCH				1			5	4		6	2		5	2		4	3					1	1	6	4	3		6	2				
OF				1						7			17			41				1		9	8	5	6								
TOTAL	15	12	0	4	2	0	7	4	0	23	17	0	28	2	0	57	28	7	6	0	0	25	12	15	23	4	0	16	11	3			
D	X			X			X			X			X			X			X				X		X				X				
P		X			X					X			X									X			X								
% COB	100%			100%			100%			80%			60%			90%			50%			100%			100%			100%					
ESP	0			0			0			0			0			0			0			5			0			1					

Código	O5-1			O5-2			O5-3			O5-4			O5-5			P22			P27			P91			P139			P147					
Longitud (m)	100			100			100			100			100			100			100			74,5			100			100					
Ancho (m)	7,1			7,1			7,1			7,1			7,1			6,06			5,25			5,97			6,99			7,01					
Area (m2)	710			710			710			710			710			606			524,67			444,77			698,5			701					
TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
FL		1						3		3	7		1	8			1																
FT																																	
FLJ										2	8		2	7	1																		
FTJ																																	
RCJ																			1	2		2			5	4		4					
FML																																	
BOR																																	
BLO	3	16		3	55	22	3	86	10	15	23		10	38		5	1								2								
COC		3	17			5			4								1	1	1	1	1				1	2							
POZ																1			2			3	1					3					
FDC																																	
OND																																	
ABU																																	
HUN		1														1								1									
AHU																			1														
DCC								1	1	2			3	1	3							1						6					
BCH											1										1					2		1					
PCH	1	5		2	2	2	4	4		10			1	2		6			3			2	1		2	1		3	2				
OF	1						3			11			34			1			1						5			6					
TOTAL	5	26	17	5	57	29	10	94	15	43	39	0	51	56	4	14	3	1	9	3	2	8	3	0	15	7	2	22	3	0			
D		X			X			X			X			X			X			X			X			X			X				
P									X																								
% COB	100%			100%			80%			85%			75%			100%			30%			100%			70%			100%					
ESP	0			0			0			0			0			0			1			0			0			0					

Código	Q156			Q230			Q237			Q341			Q349			Q359			Q426			PAVIMENTO MIXTO	K32			N438					
	Long. (m)	100		100		28,1		100		100		100		100		7,20		850,33			587,5										
Ancho (m)	6,21			9,70			5,97			6,81			6,03			5,97			7,20			8,50			5,88						
Area (m2)	620,67			969,67			167,76			681,33			603			596,5			720			850,33			587,5						
T. DE FALLA	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	TIPO DE FALLA	B	M	A	B	M	A
FL	4	4						1						2				1							BLO (F)	2	21	1	3	4	6
FT	1												1			2	1								PCH (total)	5	7	14	11	22	
FLJ																			1						DCC (F)	24	12		35	34	3
FTJ																2	1								FL (total)	2	19	2	2	5	4
RCJ				2																					FT (total)	3	6		1	2	
FML																									FLJ (F)	2	15				
BOR																									FTJ (F)	1	35				
BLO	11	8		9	1		2			1	16	3	1	3	1	3	1								RCJ (F)		1				
COC		4	6		2	1							2			3	5								BCH (total)		3	3	4	5	5
POZ							1			3			3			1									POZ (total)	1	2	2		1	
FDC																									HUN (total)			5	1	6	1
OND																									ABU (F)				1	2	
ABU	2	3																							GBL (R)			12			
HUN	2	2	3		1	1				3			1	2			4	1							Otras fallas					2	
AHU		3								5	2														TOTAL	40	121	39	58	83	19
DCC	1			2	1														2						D (F)	X				X	
BCH	1	2	1							13	17														P (F)						
PCH	4			4	1		2			2	18	11	13	4		20	1								% COB	100%			100%		
OF	17	1		4	2					2	17	8				5									ESP	0			0		
TOTAL	43	27	10	21	8	2	4	2	0	5	42	63	31	9	0	36	13	2	3	0	0										
D	X				X		X			X		X				X		X							(F) Flexible						
P																			X						(R) Rígido						
%COB	95%			100%			100%			60%			90%			80%			100%												
ESP	2			0			3			6			0			0			0												

Tabla 35: Sumatoria global de casos patológicos.

	SECTOR	BAJA	MEDIA	ALTA	ESPECIAL	TOTAL	
PAVIMENTO FLEXIBLE	A	316	253	65	8	642	
	B	294	371	284	39	988	
	C	74	67	20	9	170	
	D	94	185	98	2	379	
	E	184	172	46	1	403	
	F	151	104	34	1	290	
	G	211	256	92	5	564	
	H	112	131	39	2	284	
	I	185	261	133	4	583	
	J	138	126	27	8	299	
	K	166	135	42	15	358	
	L	384	354	131	12	881	
	M	384	188	10	0	582	
	N	204	92	25	6	327	
	O	114	272	65	0	451	
	P	68	19	5	1	93	
	Q	143	101	77	11	332	
		TOTAL	3222	3087	1193	124	7626
	PAVIMENTO RÍGIDO	A	335	48	222	2	607
C		110	87	237	13	447	
D		195	94	209	21	519	
F		30	20	62	7	119	
I		98	36	69	0	203	
J		87	46	87	4	224	
K		496	275	312	11	1094	
L		70	62	72	0	204	
N		52	25	49	1	127	
Q		401	125	182	3	711	
		TOTAL	1874	818	1501	62	4255
ARTICULADO	C	22	39	17	3	81	
	E	35	17	2	1	55	
	G	52	27	4	0	83	
	M	246	149	26	0	421	
	P	8	7	0	0	15	
		TOTAL	363	239	49	4	655
MIXTO	K	40	121	39	0	200	
	N	58	83	19	0	160	
		TOTAL	98	204	58	0	360
TOTALES	MATERIAL	BAJO	MEDIO	ALTO	ESPECIAL	TOTAL	
	FLEXIBLES	3222	3087	1193	124	7626	
	RIGIDOS	1874	818	1501	62	4255	
	ARTICULADOS	363	239	49	4	655	
	MIXTOS	98	204	58	0	360	
	TOTAL	5557	4348	2801	190	12896	
	TOTAL (%)	43,09%	33,72%	21,72%	1,47%	100%	

Fuente: Autor

Tabla 36: Estados de servicio por sector y material.

	PROMEDIO	MAX	MIN
SECTOR A	82,58	99,89	41,67
SECTOR B	80,15	99,63	45,57
SECTOR C	67,42	84,87	38,40
SECTOR D	75,86	99,99	14,04
SECTOR E	90,62	99,37	84,89
SECTOR F	86,94	97,36	49,89
SECTOR G	91,82	99,31	82,37
SECTOR H	93,65	98,58	88,78
SECTOR I	85,91	97,99	67,66
SECTOR J	86,01	99,42	58,36
SECTOR K	80,86	96,38	57,17
SECTOR L	84,57	93,70	68,69
SECTOR M	93,15	100,00	84,27
SECTOR N	88,32	98,62	73,18
SECTOR O	83,45	87,63	78,18
SECTOR P	94,34	97,36	90,53
SECTOR Q	79,83	96,53	35,61
FLEXIBLE	88,96	100,00	45,57
RÍGIDO	70,29	99,42	14,04
ARTICULADO	91,42	98,38	51,11
MIXTO	73,69	74,20	73,18
GLOBAL	85,13	100,00	14,04

Fuente: Autor

Tabla 37: Sumatoria de tipos de daño en pavimento flexible.

TIPO DE FALLA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	TOTAL
FL	11	5	17	10	15	39	57	34	43	10	74	31	88	31	23	1	12	501
FT	30	4	9	12	27	18	2	0	12	14	14	28	8	9	0	0	5	192
FLJ	9	41	0	13	4	14	1	0	12	1	19	23	17	6	20	0	1	181
FTJ	1	6	0	9	5	12	0	0	6	4	44	35	1	3	0	0	3	129
RCJ	7	8	0	7	2	0	3	2	2	0	1	3	4	0	0	18	2	59
FML	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	10
BOR	6	7	1	4	0	2	2	1	2	0	7	1	6	22	0	0	0	61
BLO	74	117	35	82	97	32	210	71	174	85	90	193	145	55	284	8	56	1808
COC	73	95	11	71	14	2	72	25	25	38	29	93	49	6	29	8	23	663
POZ	3	19	1	13	9	6	9	10	9	4	14	20	30	9	0	10	8	174
FDC	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
OND	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
ABU	1	0	0	2	11	2	4	0	15	0	2	1	2	3	0	0	5	48
HUN	32	62	3	12	19	10	10	1	16	1	18	24	8	11	1	2	20	250
AHU	0	31	0	0	2	0	20	13	7	0	0	0	0	0	0	1	10	84
DCC	82	122	6	35	66	33	29	14	58	45	77	83	84	120	11	7	6	878
BCH	36	145	5	13	9	13	17	16	23	26	22	59	6	21	1	4	34	450
PCH	207	202	48	63	87	57	86	54	145	31	64	146	71	88	33	20	80	1482
OF	56	84	24	31	35	46	37	41	30	32	56	126	61	97	49	13	56	874

Fuente: Autor.

Tabla 38: Sumatoria de tipos de daño en pavimento rígido.

TIPO DE FALLA	A	C	D	F	I	J	K	L	N	Q	TOTAL
Grieta de esquina	40	10	50	16	10	5	46	4	13	39	233
Grieta longitudinal	10	26	49	8	2	2	27	1	11	44	180
Grieta transversal	14	34	8	3	14	6	136	8	4	39	266
Grieta en extremo de pasado	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3
Grieta en bloque	160	127	130	31	57	67	244	60	41	136	1053
Bache	0	3	51	2	0	35	84	16	0	6	197
Escalonamiento long. & trans	0	20	0	0	0	1	5	2	0	11	39
Levantamiento de pedazos de	2	1	0	2	4	0	0	0	0	1	10
Parche	19	99	66	16	42	61	139	73	11	50	576
Hundimiento	82	29	26	13	8	5	17	6	8	34	228
Vegetación	267	62	101	17	64	32	315	25	32	333	1248
Daños en pozos o sumideros	0	7	13	2	1	2	16	2	4	4	51
Otras fallas	10	16	4	2	1	4	65	7	2	10	121

Fuente: Autor.

Tabla 39: Sumatoria general de áreas de pavimento.

SECTOR	FLEXIBLE	RÍGIDO	ARTICUL.	TROCHA	TOTAL
A	6716,91	2017,47	0	1149,83	9884,21
B	7470,08	0	0	620	8090,08
C	1128,31	2497,38	194,43	497,23	4317,35
D	3343,87	2566,62	0	489,6	6400,08
E	4018,59	0	236,04	0	4254,63
F	3370,50	543,33	0	0	3913,83
G	6007,70	0	628,81	2112,38	8748,89
H	4454,83	0	0	435,25	4890,08
I	5306,33	913,32	0	0,00	6219,65
J	4643,63	1641,01	0	900,33	7184,98
K	5915,71	6481,98	0	483,33	12881,03
L	8581,23	1219,49	0	0	9800,72
M	11253,50	0	4437,5	251,55	15942,55
N	6333,27	873,56	0	235,2	7442,03
O	3550	0	0	0	3550
P	2974,93	0	153	606,30	3734,23
Q	4358,92	3232,41	0	432,84	8024,17
TOTAL	89428,33	21986,57	5649,78	8213,84	125278,52
TOTAL (%)	71,38%	17,55%	4,51%	6,56%	100,00%

Fuente: Autor.

Tabla 40: Tipos de falla más comunes por sector.

SECTOR A					
Parche (F)	207	32,65%	Vegetación (R)	267	44,13%
Descascaramiento (F)	82	12,93%	Grieta en bloque (R)	160	26,45%
Fisuras en bloque (F)	74	11,67%	Hundimiento (R)	82	13,55%
Piel de cocodrilo (F)	73	11,51%	Grieta de esquina (R)	40	6,61%
Otras fallas (F)	56	8,83%	Parche (R)	19	3,14%
Bache (F)	36	5,68%	Grieta transversal (R)	14	2,31%
Hundimiento (F)	32	5,05%	Grieta longitudinal (R)	10	1,65%
Fisura Transversal (F)	30	4,73%	Otras fallas (R)	10	1,65%
Demás casos (F)	44	6,94%	Demás casos (R)	3	0,50%
SECTOR B					
Parche (F)	202	21,29%	Otras fallas (F)	84	8,85%
Bache (F)	145	15,28%	Hundimiento (F)	62	6,53%
Descascaramiento (F)	122	12,86%	Fisura Long. en junta (F)	41	4,32%
Fisuras en bloque (F)	117	12,33%	Ahuellamiento (F)	31	3,27%
Piel de cocodrilo (F)	95	10,01%	Demás casos (F)	50	5,27%
SECTOR C					
Parche (F)	48	29,81%	Grieta en bloque (R)	127	29,26%
Fisuras en bloque (F)	35	21,74%	Parche (R)	99	22,81%
Otras fallas (F)	24	14,91%	Vegetación (R)	62	14,29%
Fisura Longitudinal (F)	17	10,56%	Grieta transversal (R)	34	7,83%
Piel de cocodrilo (F)	11	6,83%	Hundimiento (R)	29	6,68%
Fisura Transversal (F)	9	5,59%	Grieta longitudinal (R)	26	5,99%
Descascaramiento (F)	6	3,73%	Escalon. long. & transv. (R)	20	4,61%
Bache (F)	5	3,11%	Otras fallas (R)	16	3,69%
Demás casos (F)	6	3,73%	Demás casos (R)	21	4,84%
SECTOR D					
Fisuras en bloque (F)	82	21,75%	Grieta en bloque (R)	130	26,10%
Piel de cocodrilo (F)	71	18,83%	Vegetación (R)	101	20,28%
Parche (F)	63	16,71%	Parche (R)	66	13,25%
Descascaramiento (F)	35	9,28%	Bache (R)	51	10,24%
Otras fallas (F)	31	8,22%	Grieta de esquina (R)	50	10,04%
Fisura Long. en junta (F)	13	3,45%	Grieta longitudinal (R)	49	9,84%
Daños pozos o sum. (F)	13	3,45%	Hundimiento (R)	26	5,22%
Bache (F)	13	3,45%	Daños pozos sum. (R)	13	2,61%
Demás casos (F)	56	14,85%	Demás casos (R)	12	2,41%
SECTOR E					
Fisuras en bloque (F)	97	24,13%	Desplaz. de juntas (A)	16	29,63%
Parche (F)	87	21,64%	Fract. de adoquines (A)	15	27,78%
Descascaramiento (F)	66	16,42%	Vegetación (A)	13	24,07%
Otras fallas (F)	35	8,71%	Ahuellamiento (A)	8	14,81%
Fisura Transversal (F)	27	6,72%	Abultamiento (A)	1	1,85%
Hundimiento (F)	19	4,73%	Otras fallas (A)	1	1,85%
Fisura Longitudinal (F)	15	3,73%	Hundimiento (A)	0	0,00%
Piel de cocodrilo (F)	14	3,48%	Escalon. de adoquines (A)	0	0,00%
Demás casos (F)	42	10,45%	Demás casos (A)	0	0,00%

SECTOR F					
Parche (F)	57	19,72%	Grieta en bloque (R)	31	27,68%
Otras fallas (F)	46	15,92%	Vegetación (R)	17	15,18%
Fisura Longitudinal (F)	39	13,49%	Grieta de esquina (R)	16	14,29%
Descascaramiento (F)	33	11,42%	Parche (R)	16	14,29%
Fisuras en bloque (F)	32	11,07%	Hundimiento (R)	13	11,61%
Fisura Transversal (F)	18	6,23%	Grieta longitudinal (R)	8	7,14%
Fisura Long. en junta (F)	14	4,84%	Grieta transversal (R)	3	2,68%
Bache (F)	13	4,50%	Bache (R)	2	1,79%
Demás casos (F)	37	12,80%	Demás casos (R)	6	5,36%
SECTOR G					
Fisuras en bloque (F)	210	37,57%	Fract. de adoquines (A)	26	31,33%
Parche (F)	86	15,38%	Hundimiento (A)	19	22,89%
Piel de cocodrilo (F)	72	12,88%	Escalon. de bordes (A)	12	14,46%
Fisura Longitudinal (F)	57	10,20%	Vegetación (A)	10	12,05%
Otras fallas (F)	37	6,62%	Otras fallas (A)	6	7,23%
Descascaramiento (F)	29	5,19%	Ahuellamiento (A)	5	6,02%
Ahuellamiento (F)	20	3,58%	Grietas en confin. (A)	4	4,82%
Bache (F)	17	3,04%	Daños pozos o sum. (A)	1	1,20%
Demás casos (F)	31	5,55%	Demás casos (A)	0	0,00%
SECTOR H					
Fisuras en bloque (F)	71	25,18%	Bache (F)	16	5,67%
Parche (F)	54	19,15%	Descascaramiento (F)	14	4,96%
Otras fallas (F)	41	14,54%	Ahuellamiento (F)	13	4,61%
Fisura Longitudinal (F)	34	12,06%	Daños pozos o sum. (F)	10	3,55%
Piel de cocodrilo (F)	25	8,87%	Demás casos (F)	4	1,42%
SECTOR I					
Fisuras en bloque (F)	174	30,05%	Vegetación (R)	64	31,53%
Parche (F)	145	25,04%	Grieta en bloque (R)	57	28,08%
Descascaramiento (F)	58	10,02%	Parche (R)	42	20,69%
Fisura Longitudinal (F)	43	7,43%	Grieta transversal (R)	14	6,90%
Otras fallas (F)	30	5,18%	Grieta de esquina (R)	10	4,93%
Piel de cocodrilo (F)	25	4,32%	Hundimiento (R)	8	3,94%
Bache (F)	23	3,97%	Lev. pedazos de losa (R)	4	1,97%
Hundimiento (F)	16	2,76%	Grieta longitudinal (R)	2	0,99%
Demás casos (F)	65	11,23%	Demás casos (R)	2	0,99%
SECTOR J					
Fisuras en bloque (F)	85	29,21%	Grieta en bloque (R)	67	30,45%
Descascaramiento (F)	45	15,46%	Parche (R)	61	27,73%
Piel de cocodrilo (F)	38	13,06%	Bache (R)	35	15,91%
Otras fallas (F)	32	11,00%	Vegetación (R)	32	14,55%
Parche (F)	31	10,65%	Grieta transversal (R)	6	2,73%
Bache (F)	26	8,93%	Grieta de esquina (R)	5	2,27%
Fisura Transversal (F)	14	4,81%	Hundimiento (R)	5	2,27%
Fisura Longitudinal (F)	10	3,44%	Otras fallas (R)	4	1,82%
Demás casos (F)	10	3,44%	Demás casos (R)	5	2,27%

SECTOR K					
Fisuras en bloque (F)	90	16,95%	Vegetación (R)	315	28,77%
Descascaramiento (F)	77	14,50%	Grieta en bloque (R)	244	22,28%
Fisura Longitudinal (F)	74	13,94%	Parche (R)	139	12,69%
Parche (F)	64	12,05%	Grieta transversal (R)	136	12,42%
Otras fallas (F)	56	10,55%	Bache (R)	84	7,67%
Fisura transv. en junta (F)	44	8,29%	Otras fallas (R)	65	5,94%
Piel de cocodrilo (F)	29	5,46%	Grieta de esquina (R)	46	4,20%
Bache (F)	22	4,14%	Grieta longitudinal (R)	27	2,47%
Fisura Long. en junta (F)	19	3,58%	Hundimiento (R)	17	1,55%
Demás casos (F)	56	10,55%	Demás casos (R)	22	2,01%
SECTOR L					
Fisuras en bloque (F)	193	22,21%	Parche (R)	73	35,78%
Parche (F)	146	16,80%	Grieta en bloque (R)	60	29,41%
Otras fallas (F)	126	14,50%	Vegetación (R)	25	12,25%
Piel de cocodrilo (F)	93	10,70%	Bache (R)	16	7,84%
Descascaramiento (F)	83	9,55%	Grieta transversal (R)	8	3,92%
Bache (F)	59	6,79%	Otras fallas (R)	7	3,43%
Fisura transv. en junta (F)	35	4,03%	Hundimiento (R)	6	2,94%
Fisura Longitudinal (F)	31	3,57%	Grieta de esquina (R)	4	1,96%
Demás casos (F)	103	11,85%	Demás casos (R)	5	2,45%
SECTOR M					
Fisuras en bloque (F)	145	24,91%	Fract. de adoquines (A)	182	43,23%
Fisura Longitudinal (F)	88	15,12%	Vegetación (A)	106	25,18%
Descascaramiento (F)	84	14,43%	Grietas en confin. (A)	97	23,04%
Parche (F)	71	12,20%	Hundimiento (A)	17	4,04%
Otras fallas (F)	61	10,48%	Daños pozos o sum. (A)	9	2,14%
Piel de cocodrilo (F)	49	8,42%	Otras fallas (A)	7	1,66%
Daños pozos o sum. (F)	30	5,15%	Escalon. de bordes (A)	3	0,71%
Fisura Long. en junta (F)	17	2,92%	Abultamiento (A)	0	0,00%
Demás casos (F)	37	6,36%	Demás casos (A)	0	0,00%

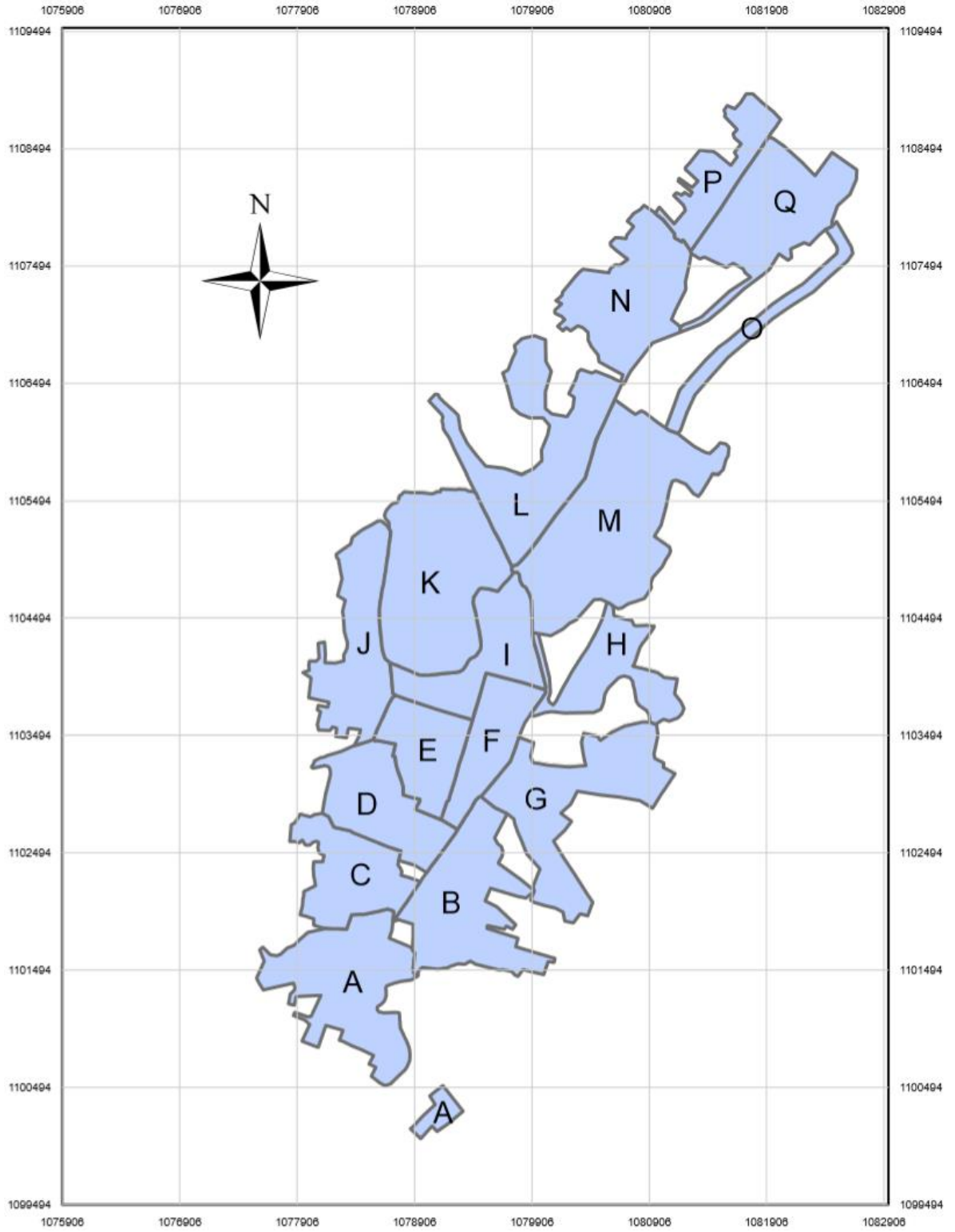
SECTOR N					
Descascaramiento (F)	120	24,95%	Grieta en bloque (R)	41	32,54%
Otras fallas (F)	97	20,17%	Vegetación (R)	32	25,40%
Parche (F)	88	18,30%	Grieta de esquina (R)	13	10,32%
Fisuras en bloque (F)	55	11,43%	Grieta longitudinal (R)	11	8,73%
Fisura Longitudinal (F)	31	6,44%	Parche (R)	11	8,73%
Fisura de Borde (F)	22	4,57%	Hundimiento (R)	8	6,35%
Bache (F)	21	4,37%	Grieta transversal (R)	4	3,17%
Hundimiento (F)	11	2,29%	Daños pozos o sum. (R)	4	3,17%
Demás casos (F)	36	7,48%	Demás casos (R)	2	1,59%
SECTOR O			SECTOR P		
Fisuras en bloque (F)	284	62,97%	Parche	20	21,74%
Otras fallas (F)	49	10,86%	Reflex. Capas juntas (F)	18	19,57%
Parche (F)	33	7,32%	Otras fallas (F)	13	14,13%
Piel de cocodrilo (F)	29	6,43%	Daños pozos o sum. (F)	10	10,87%
Fisura Longitudinal (F)	23	5,10%	Fisuras en bloque (F)	8	8,70%
Fisura Long. en junta (F)	20	4,43%	Piel de cocodrilo (F)	8	8,70%
Descascaramiento (F)	11	2,44%	Descascaramiento (F)	7	7,61%
Demás casos (F)	2	0,44%	Demás casos (F)	8	8,70%
SECTOR Q					
Parche (F)	80	24,92%	Vegetación (R)	333	47,03%
Fisuras en bloque (F)	56	17,45%	Grieta en bloque (R)	136	19,21%
Otras fallas (F)	56	17,45%	Parche (R)	50	7,06%
Bache (F)	34	10,59%	Grieta longitudinal (R)	44	6,21%
Piel de cocodrilo (F)	23	7,17%	Grieta de esquina (R)	39	5,51%
Hundimiento (F)	20	6,23%	Grieta transversal (R)	39	5,51%
Fisura Longitudinal (F)	12	3,74%	Hundimiento (R)	34	4,80%
Ahuellamiento (F)	10	3,12%	Escalon. long. & transv. (R)	11	1,55%
Demás casos (F)	30	9,35%	Demás casos (R)	22	3,11%

(F) Pavimento flexible; (R) Pavimento rígido; (A) Pavimento articulado

Fuente: Autor

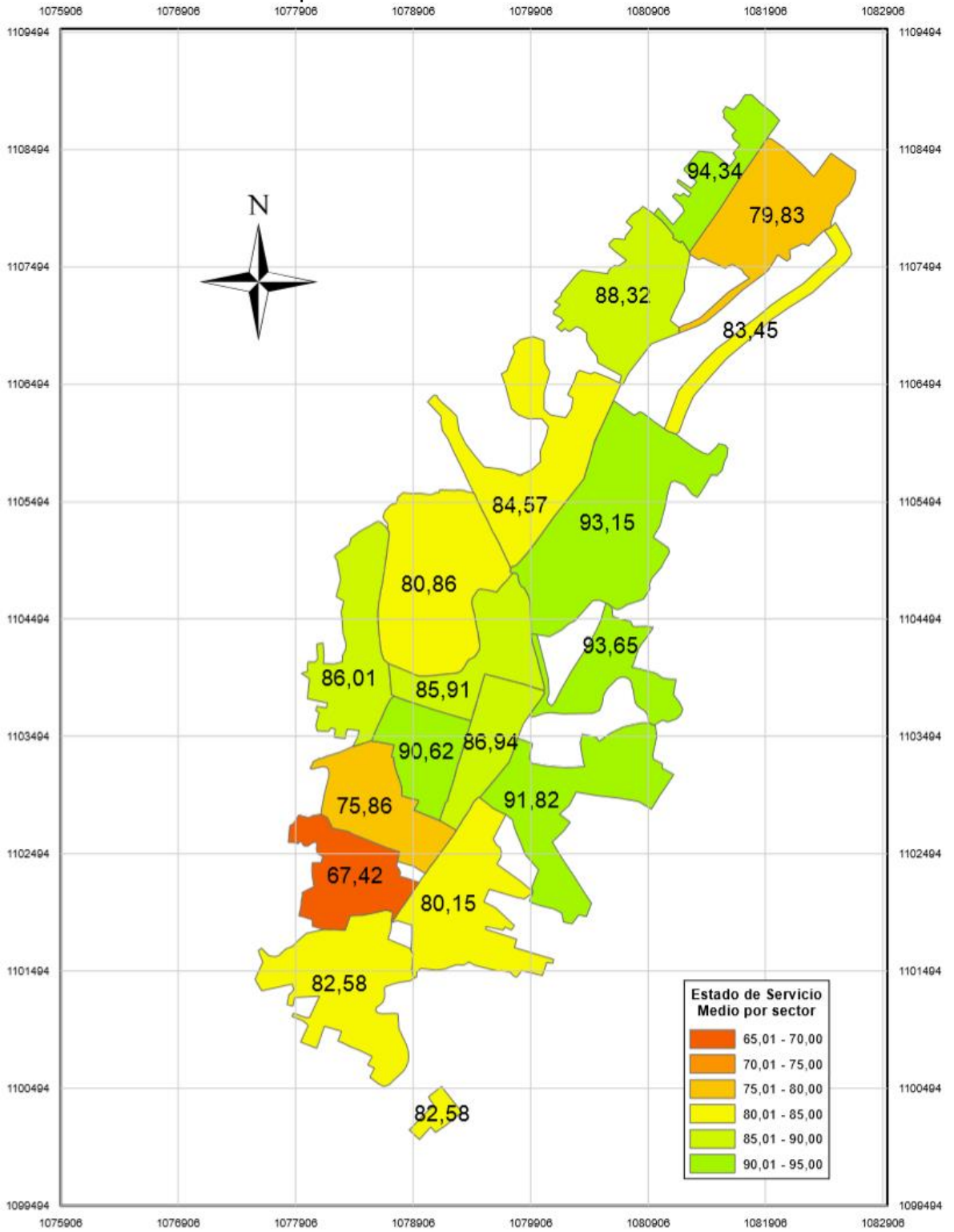
ANEXO H: MAPAS DE ANÁLISIS GLOBAL

Mapa 1: División de los sectores de estudio.



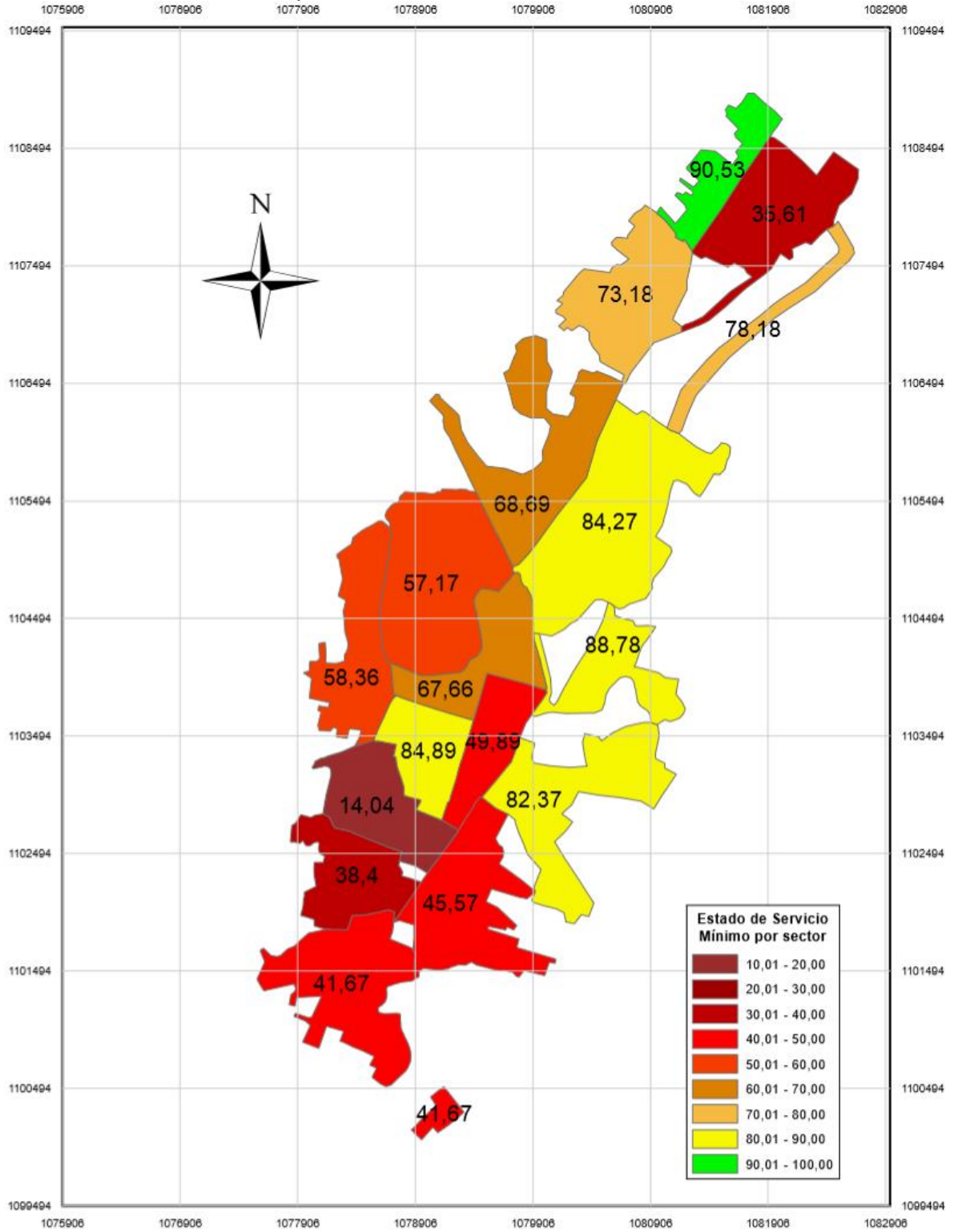
Fuente: Autor

Mapa 2: Estados medios de servicio.



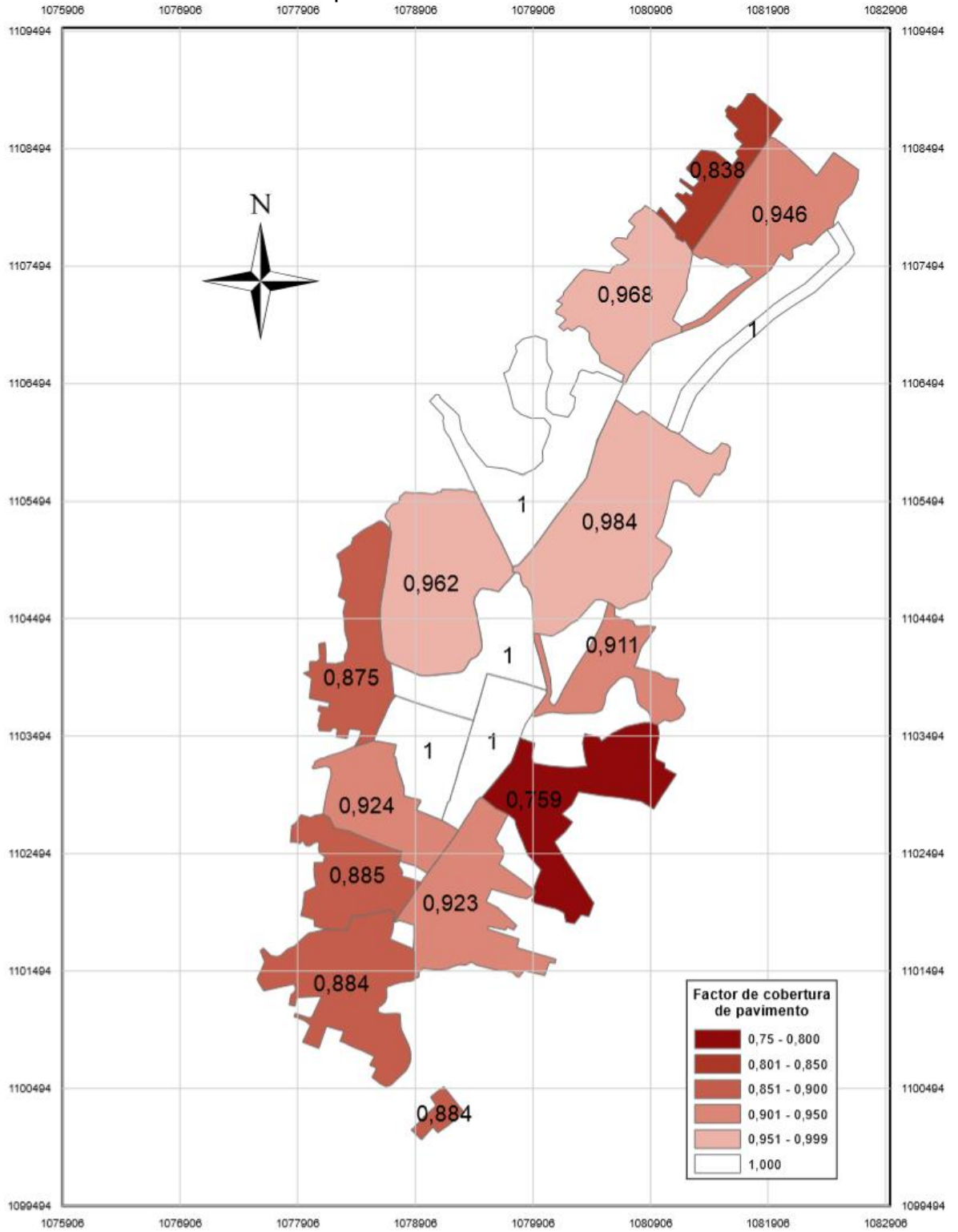
Fuente: Autor

Mapa 3: Estados mínimos de servicio.



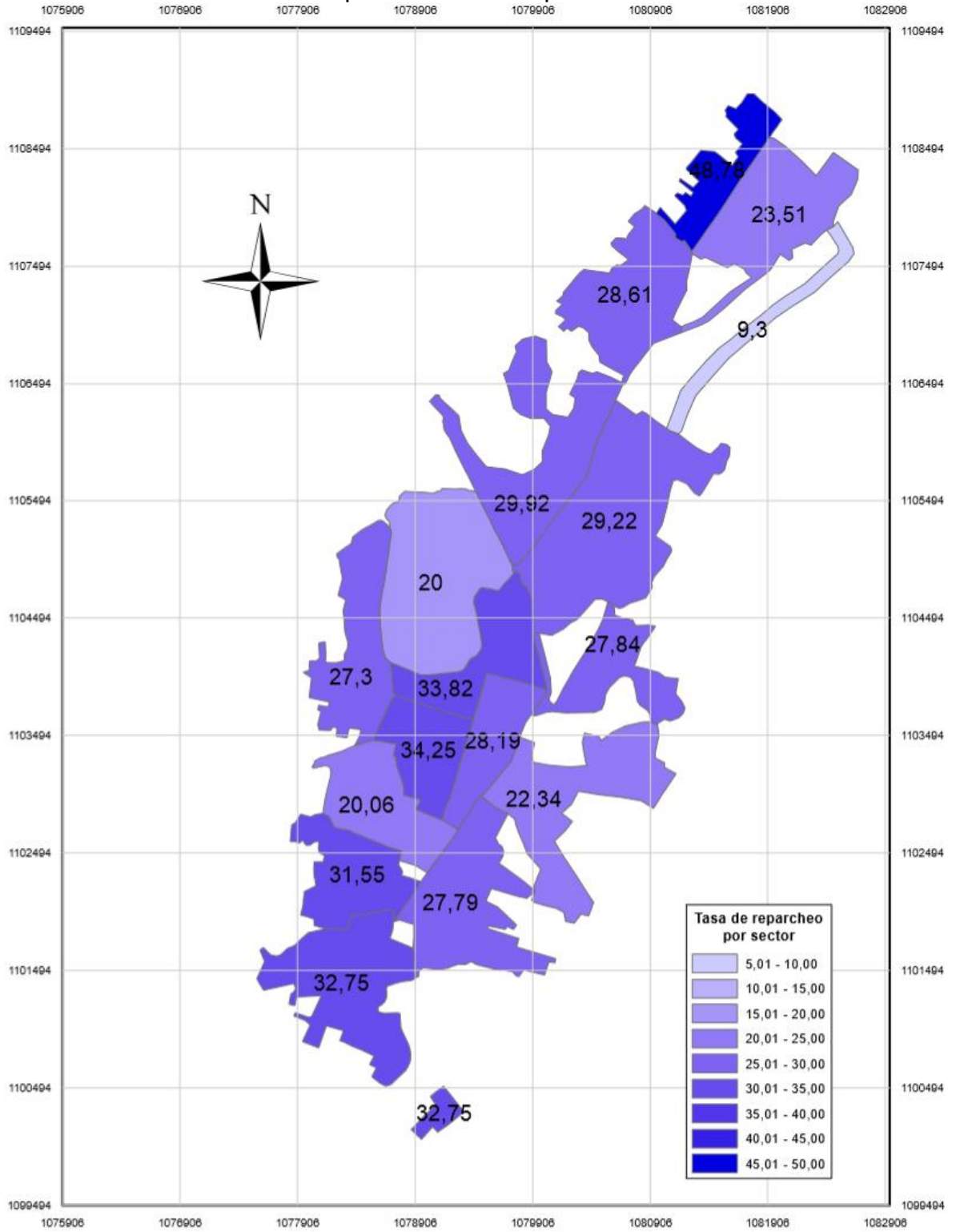
Fuente: Autor

Mapa 5: Factores de cobertura.



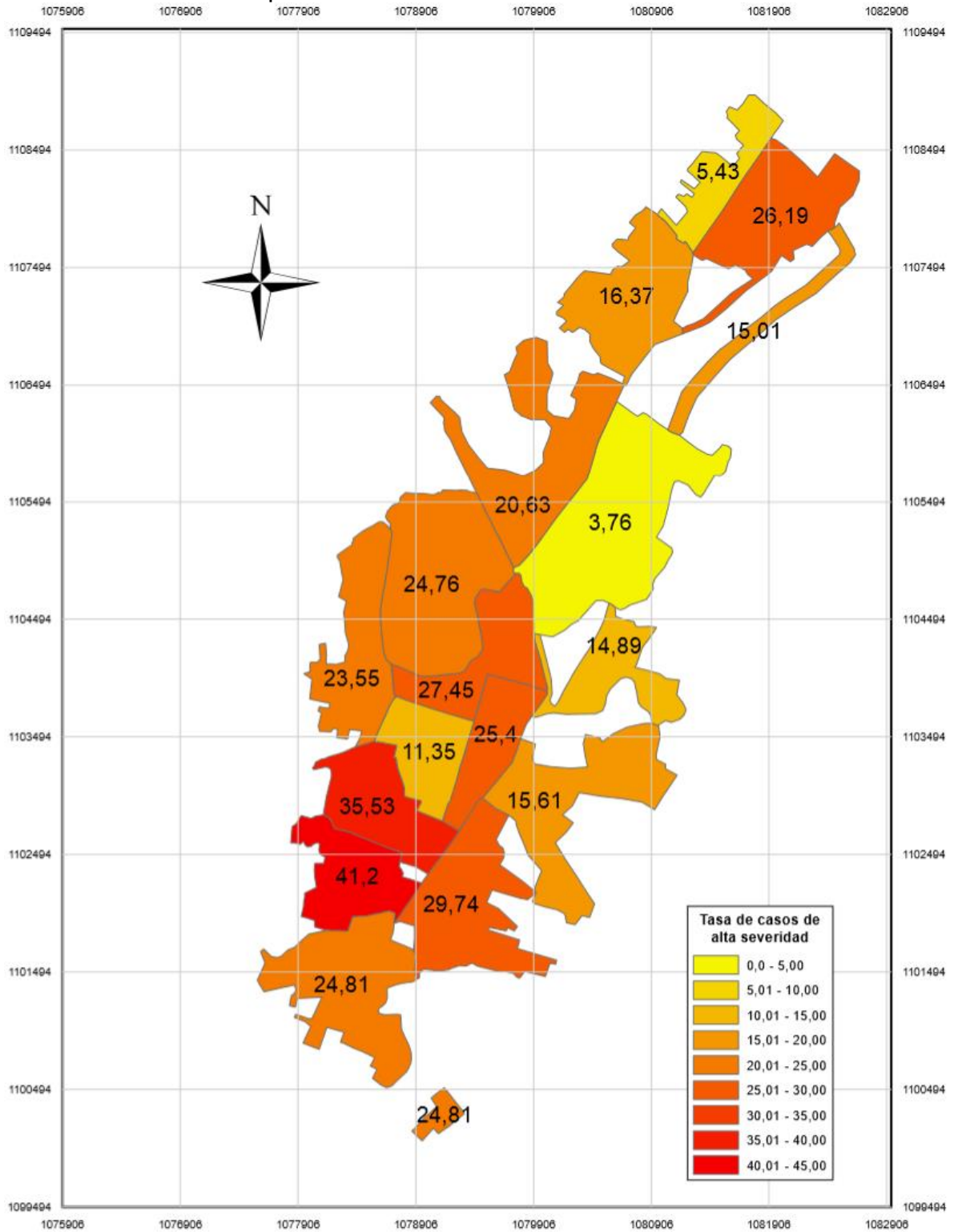
Fuente: Autor

Mapa 6: Tasas de reparcheo.



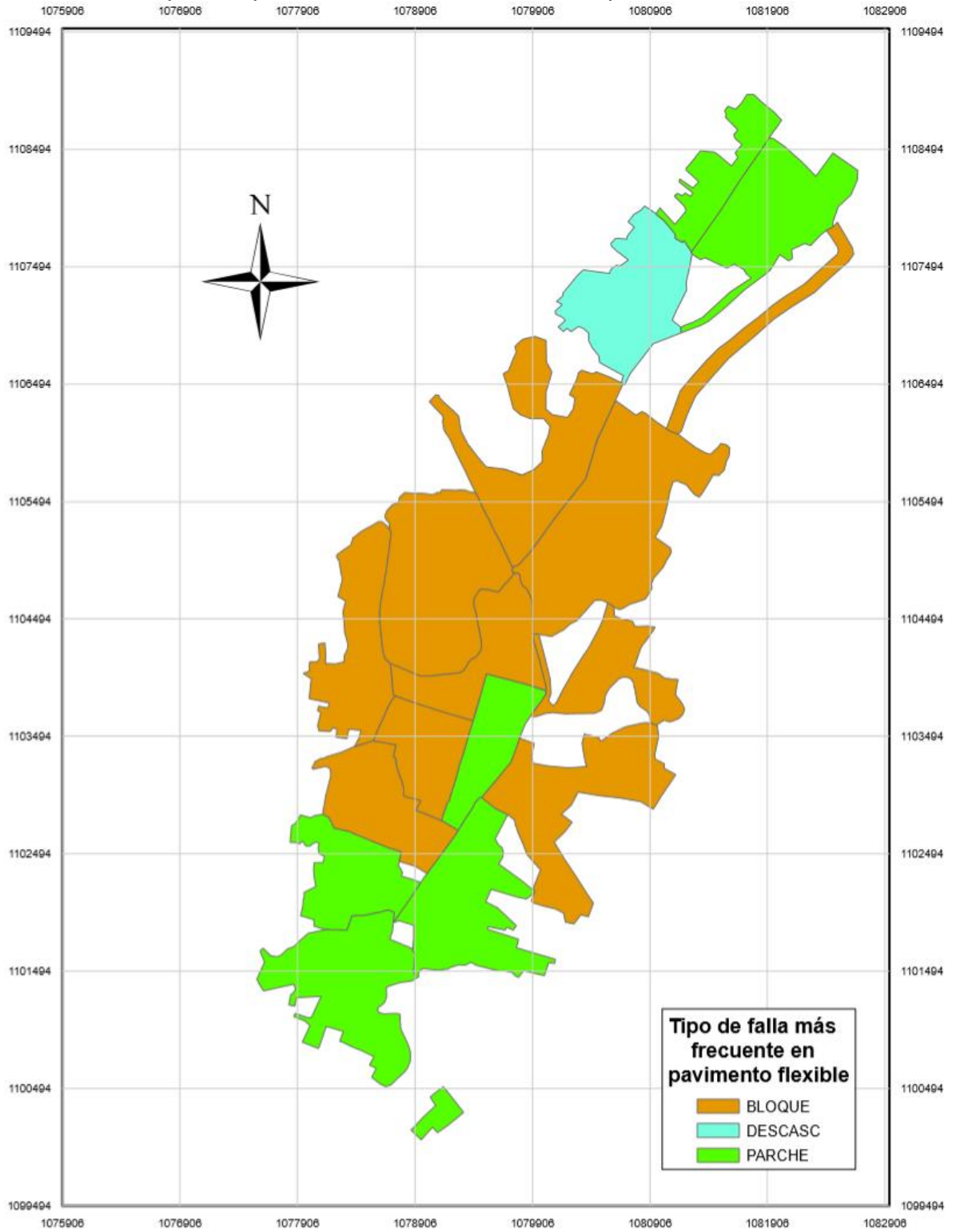
Fuente: Autor

Mapa 7: Tasas de casos de severidad alta.



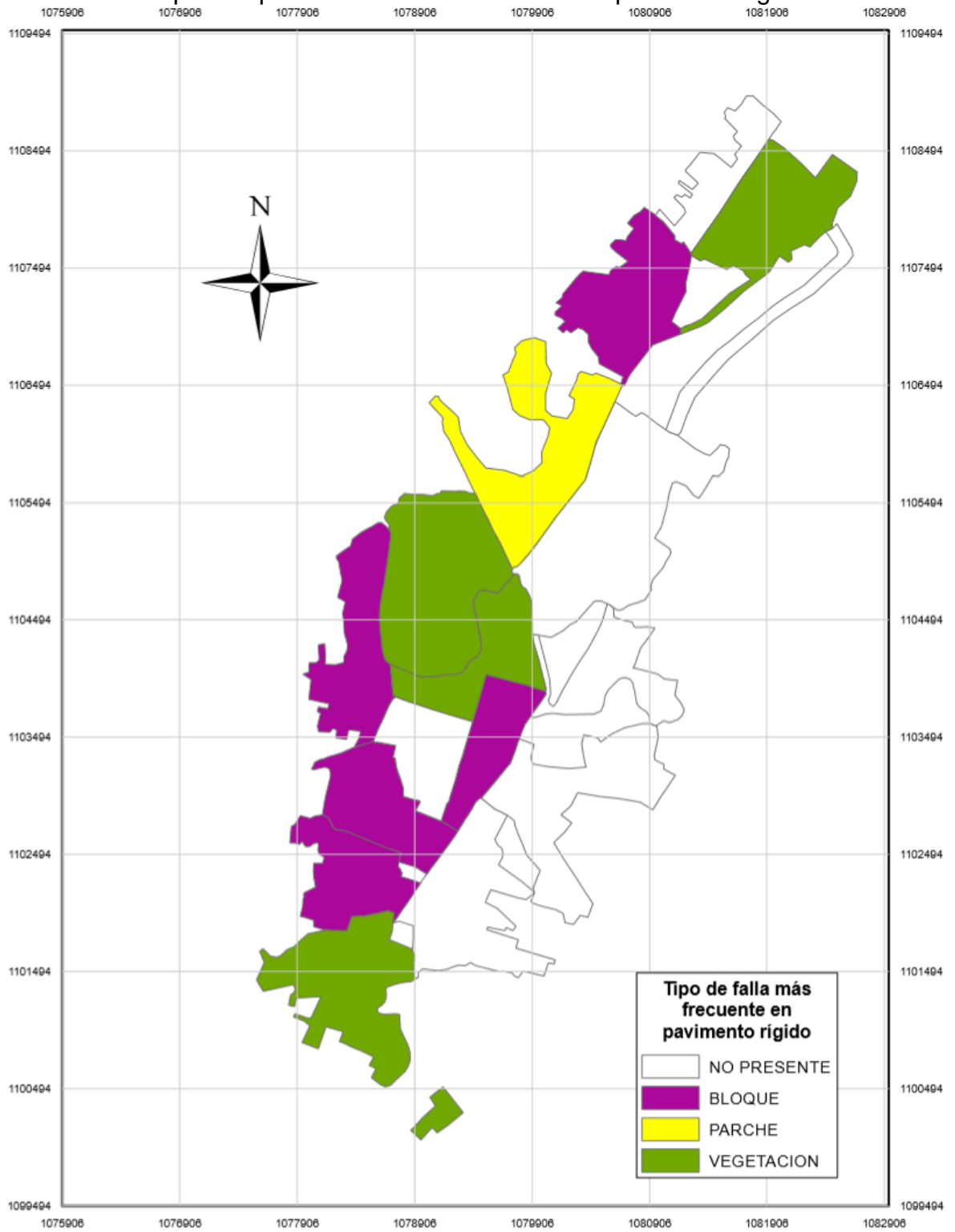
Fuente: Autor

Mapa 8: Tipos de falla más frecuentes en pavimento flexible.



Fuente: Autor

Mapa 9: Tipos de falla más frecuentes en pavimento rígido.



Fuente: Autor