



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Variables externas que influyen en el desgaste del pavimento flexible en vías de segundo orden del cantón Guano.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores

Gualli Sáez, Jhonatan Paul

Riera Pozo, Luis Josué

Tutor

Ing. Carlos Sebastián Saldaña García MSc.

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Jhonatan Paul Gualli Sáez** con cédula de ciudadanía 0605824549, autor del trabajo de investigación titulado: **VARIABLES EXTERNAS QUE INFIEREN EN EL DESGASTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN DEL CANTÓN GUANO**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 30 de Julio del 2025.



Jhonatan Paul Gualli Sáez

C.I: 0605824549

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Luis Josué Riera Pozo** con cédula de ciudadanía 0605070838, autor del trabajo de investigación titulado: **VARIABLES EXTERNAS QUE INFIEREN EN EL DESGASTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN DEL CANTÓN GUANO**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 30 de Julio del 2025.



Luis Josué Riera Pozo

C.I: 0605070838

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, Mgs catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“VARIABLES EXTERNAS QUE INFIEREN EN EL DESGASTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN DEL CANTÓN GUANO”**, bajo la autoría de, Jhonatan Paul Gualli Sáez; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 30 días del mes de Julio de 2025



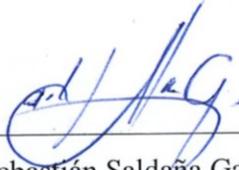
Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, Mgs

C.I: 0301496584

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, Mgs catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“VARIABLES EXTERNAS QUE INFIEREN EN EL DESGASTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN DEL CANTÓN GUANO”**, bajo la autoría de, Luis Josué Riera Pozo; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 30 días del mes de Julio de 2025



Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, Mgs

C.I: 0301496584

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**VARIABLES EXTERNAS QUE INFIEREN EN EL DESGASTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN DEL CANTÓN GUANO**”, presentado por **Jhonatan Paul Gualli Sáez** con cédula de ciudadanía 0605824549, bajo la tutoría de Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, Mgs; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 30 de Julio de 2025.

Ing. Hernan Vladimir Pazmiño Chiluiza MGs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Ángel Edmundo Paredes García MGs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Julio Andres Fiallos Iglesias MGs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“VARIABLES EXTERNAS QUE INFIEREN EN EL DESGASTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN DEL CANTÓN GUANO”**, presentado por **Luis Josué Riera Pozo** con cédula de ciudadanía 0605070838, bajo la tutoría de Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, Mgs; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 30 de Julio de 2025.

Ing. Hernan Vladimir Pazmiño Chiluiza MGS.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Ángel Edmundo Paredes García MGS.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Julio Andres Fiallos Iglesias MGS.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **JHONATAN PAUL GUALLI SÁEZ** con CC: **0605824549**, y **Riera Pozo Luis Josué** con CC: 0605070838 estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**VARIABLES EXTERNAS QUE INFIEREN EN EL DESGASTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN DEL CANTÓN GUANO**", cumple con el 7 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO MAGISTER**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 28 de julio de 2025

Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, Mgs
TUTOR

DEDICATORIA

Queremos expresar nuestro más profundo logro a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis. En primer lugar, agradecemos a nuestro tutor, Ingeniero Carlos Saldaña, por su invaluable guía, apoyo y paciencia durante todo el proceso de investigación y redacción.

También queremos agradecer a nuestra familia y amigos, quienes me brindaron su apoyo emocional y motivación en cada etapa, alentándome a seguir adelante incluso en los momentos difíciles.

Agradecemos a nuestros compañeros de estudio y a todos los profesores que contribuyeron a nuestra formación académica, propinándonos las herramientas necesarias para llevar a cabo este trabajo.

Finalmente, gracias a todas las personas e instituciones que, de alguna u otra manera, colaboraron e informaron para la realización de esta tesis.

Gualli Jhonatan; Riera Luis

AGRADECIMIENTO

Quiero dedicar estas palabras a las personas más importantes en este camino, vienen han sido mi mayor fortaleza y fuente de inspiración.

Agradezco profundamente a mis padres (María Carmen Sáez Asitimbay y Pedro Gualli Atupaña), por su amor incondicional y su interminable paciencia y a mis abuelos quienes siempre estaban a mi lado apoyándome en todo momento. Gracias por confiar siempre en mí, por animar a seguir adelante un cuando las fuerzas flaqueaban y por entenderme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo y la perseverancia. Cada logro que se obtiene es, en gran parte, gracias a ustedes. Este proyecto es también suyo, porque lo han acompañado y sostenido con todo su cariño y comprensión.

A mi tutor de tesis, el Ingeniero Carlos Saldaña, le guardo un reconocimiento especial. Su dedicación, sus consejos y su confianza en mis capacidades han sido fundamentales para concluir este trabajo. Agradezco profundamente su generación al compartir su conocimiento y su tiempo, así como la paciencia y la guía con la que me orientó durante los momentos de mayor incertidumbre.

Gracias por acompañarme, por sostenerme y por motivarme a superarme. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

Gualli Sáez Jhonatan Paul

A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en cada paso de este camino. Por darme la sabiduría para avanzar, la paz en los momentos de duda y la fe que me sostuvo incluso en los días más difíciles. Todo lo que soy y todo lo que he logrado, es gracias a Ti.

A mis padres, Luis Riera y Sonia Pozo, por ser el alma y el corazón de mi vida. Por cada sacrificio silencioso, por cada palabra de ánimo, por cada noche de desvelo pensando en mi bienestar. Gracias por enseñarme con su ejemplo que los sueños se alcanzan con trabajo, constancia y humildad. Su amor, su entrega y su confianza en mí han sido la base de este logro. Todo lo que he conseguido es el reflejo del inmenso amor con el que me criaron. Nunca encontraré palabras suficientes para agradecerles.

A mis hermanas, por ser mi apoyo incondicional, mi alegría constante y una parte fundamental de mi historia. Gracias por estar a mi lado en cada paso, por impulsarme cuando sentía que no podía más, y por caminar conmigo en este largo trayecto con amor y paciencia. Y con todo mi corazón, dedico este logro a mis abuelitos: a mi abuelita Ana Guillén, por su ternura y sabiduría, y a mi abuelito Luis Riera, mi papi José como le decíamos, quien ya no está entre nosotros, pero cuya presencia sigue viva en mi alma. Su amor, sus historias y sus valores siguen marcando mi camino. Este trabajo también es suyo, y lo llevo con orgullo en su memoria.

Riera Pozo Luis Josué

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.3.1 GENERAL.....	18
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 CARACTERÍSTICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.....	19
2.2 ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI).....	20
2.2.1 Clasificación del PCI.....	20
2.3 FACTORES EXTERNOS QUE INTERVIENEN AL DETERIORO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	21
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	23
3.1 ENFOQUE DE ESTUDIO.....	23
3.2 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.3 MÉTODOS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	24
3.4 MUESTRA.....	26
3.5 CLASIFICACIÓN DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	28
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1 Recopilación de información de la zona de estudio.....	30
4.2 Comportamiento del PCI a lo largo del tramo vial.....	30
4.3 Identificación de las fallas críticas en las vías secundarias del cantón guano.....	38
4.4 Resultados del Análisis de Falla General en Pavimentos Flexibles en las Vías del Cantón Guano.....	42

4.5 Análisis del Origen principal y consecuencias del deterioro en el pavimento flexible en el cantón guano.	48
4.6 Análisis del origen y de las fallas principales en el cantón guano.	52
4.7 Análisis del factor secundario y consecuencias de las fallas generales del pavimento flexible en el cantón guano.	56
4.8 Análisis del Origen principal y la Frecuencia de Fallas en Pavimentos Flexibles del Cantón Guano.	61
5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	64
6. Bibliografía	66
7. ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del PCI.....	20
Tabla 2. Vías analizadas de segundo orden del cantón Guano.....	26
Tabla 3. Clasificación de Fallas Generales	28
Tabla 4. Relación de tramo vial, falla predominante y probabilidad.....	47
Tabla 5. Clasificación de Origen principal y su consecuencia.	48
Tabla 6. Análisis de fallas en pavimentos flexibles según su origen principal.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología del tema de investigación.....	23
Figura 2. Vías asfálticas secundarias del cantón Guano	27
Figura 3a. PCI en la vía Guano- San Andrés	26
Figura 3b. PCI de la vía San Pablo - Talaguag	26
Figura 3c. PCI de la vía Talaguag.....	26
Figura 4. PCI en la vía Guano-San Andrés	28
Figura 5a. PCI en la vía Guano-Illapo.....	30
Figura 5b. PCI en la vía Santa fe de Galan.....	30
Figura 5c. PCI en la vía San Isidro Josefina.....	30
Figura 5d. PCI en la vía Valparaíso.....	30
Figura 5e. PCI en la vía Guano Santa Teresita.....	31
Figura 6. Análisis de Fallas en Pavimentos Flexibles de las vías Secundarias del Cantón Guano.	40
Figura 7. Distribución porcentual de los tipos de fallas en la vía Guano – Illapo.....	43
Figura 12. Análisis de las fallas más comunes en pavimentos flexibles en base a su origen principal.....	53
Figura 8. Diagrama Sankey entre factor secundario y consecuencia de la falla general denominada fisuración o agrietamiento.	57
Figura 9. Diagrama Sankey entre factor secundario-consecuencia de la falla general denominada desintegraciones.	58
Figura 10. Diagrama Sankey entre factor secundario y consecuencia de la falla general denominada otros modos de falla.	59
Figura 11. Diagrama Sankey entre factor secundario y consecuencia de la falla general denominada deformaciones permanentes.....	60
Figura 13. Análisis de origen principal al deterioro de vías secundarias del cantón Guano.	61
Figura 14. Distribución porcentual de las consecuencias de las fallas en pavimentos flexibles en vías secundarias del cantón Guano.....	62

RESUMEN

El análisis de factores externos que inciden en el deterioro del pavimento flexible es un tema crucial para garantizar la seguridad, confort, eficiencia en el transporte, reducción de costos de mantenimiento e incremento para el desarrollo regional. La infraestructura vial es fundamental para el desarrollo económico. Sin embargo, las condiciones climáticas, tráfico vehicular, calidad de construcción y características geotécnicas afectan la vida útil y su desempeño. Por ello se llevará una investigación con un enfoque mixto, combinando la metodología cualitativa y cuantitativa, en la cual se realizará inspecciones visuales en tramos representativos de la vía que cuenten con fallas críticas en el pavimento flexible, además del análisis de variables externas que influyen al deterioro del pavimento. El análisis se realizó mediante técnicas estadísticas y de correlación con la ayuda de software como “EXCEL” y “POWER BI”, identificando los principales factores que contribuyen al deterioro irregular de la vía. Los resultados evidenciaron que las fallas críticas se deben a la falta de conciencia vial, material defectuoso, condiciones climáticas que aceleran el desgaste vial, Diseño deficiente, fatiga de material, movimiento de suelos, entre otras. El análisis realizado con la ayuda del software “POWER BI” nos ayudó a determinar que las fallas que más impacto tienen en las vías de segundo orden e identificar el origen principal que conlleva al desgaste vial como el tema: constructivo, geotécnico, humanos, edad y clima. El estudio nos proporciona información valiosa para tomar decisiones sobre la gestión vial, y mantenimientos que deberían llevarse a cabo junto a su fiscalización el momento de llevar a cabo la construcción de la infraestructura vial y de esta manera aplicar estrategias preventivas y correctivas para optimizar la inversión pública y garantizar la seguridad de la infraestructura y sostenibilidad en el cantón Guano.

Palabras claves: Pavimento flexible, deterioro vial, factores externos, vías de segundo orden, tipo de fallas.

ABSTRACT

The analysis of external factors that affect the deterioration of flexible pavement is a crucial issue to ensure safety, comfort, transportation efficiency, reduced maintenance costs, and increased regional development. Road infrastructure is fundamental for economic development. However, climatic conditions, vehicular traffic, construction quality, and geotechnical characteristics affect the service life and performance. For this reason, research will be conducted using a mixed approach, combining qualitative and quantitative methodologies. This approach will involve visual inspections in representative sections of the road with critical failures in the flexible pavement, as well as an analysis of external variables that influence pavement deterioration. The analysis was carried out using statistical and correlation techniques with the help of software such as “EXCEL” and “POWER BI”, identifying the main factors that contribute to the irregular deterioration of the road. The results showed that critical failures are due to a lack of road awareness, defective materials, climatic conditions that accelerate road wear, poor design, material fatigue, and soil movement, among other factors. The analysis carried out with the help of the “POWER BI” software helped us to determine which failures have the greatest impact on second-order roads and to identify the main origin that leads to road wear, such as: constructive, geotechnical, human, age, and climate. The study provides us with valuable information to make decisions on road management and maintenance that should be carried out together with its supervision at the time of carrying out the construction of road infrastructure and thus apply preventive and corrective strategies to optimize public investment and ensure the safety of infrastructure and sustainability in the canton of Guano.

Keywords: Flexible pavement, road deterioration, external factors, second-order roads, type of failures.



Reviewed by: Marcela González R.
ENGLISH PROFESSOR

CAPÍTULO I. INTRODUCCION

La infraestructura vial es una parte jerárquica importante del patrimonio nacional porque permite la comunicación y conectividad entre aglomeraciones, asentamientos, comercio y servicios. (Rebolledo & Miranda, 2010)

La vida útil de un pavimento flexible se ve influenciada por factores como: diseño, cargas y volúmenes de tráfico. El diseño correcto permite un adecuado comportamiento del pavimento durante todo su ciclo de vía planificado. Sin embargo, hay muchas razones por las que no se cumple con el periodo de diseño entre algunas tenemos; construcción, aumento del tráfico, errores de diseño, ineficiente gestión de conservación, problemas de drenajes entre otras razones. (Medina, 2018)

El GAD provincial de Chimborazo debe asegurar que las vías de segundo orden de la provincia tengan una condición adecuada de servicio. Estas vías se ven afectadas por factores externos como, por ejemplo, la topografía, el clima y el tráfico vehicular mostrando un desgaste diferente a lo largo de la vía reduciendo de esta manera la seguridad y comodidad de los usuarios. En este caso, es muy importante estudiar detenidamente las variables externas que inciden en este desgaste, comprender las causas fundamentales y desarrollar estrategias efectivas de protección vial. (Beltrán, 2014)

El propósito de este estudio es analizar las diversas variables que actúan sobre los pavimentos flexibles en el cantón Guano. Considerando el estado actual de las vías y de esta manera correlacionar los factores externos de estudio. (Macea, 2016)

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las carreteras sin pavimentar experimentan un deterioro acelerado en comparación con las pavimentadas. Esto se debe a que las partículas finas se unen con los agregados gruesos expuestos a las condiciones ambientales, lo que resulta en la pérdida de humedad. Con el paso del tráfico vehicular, se produce un desgaste superficial que convierte estas partículas en polvo, dando lugar a la formación de baches, ondulaciones y otras deformidades en la superficie de la vía. El pavimento flexible de las vías analizadas enfrenta deterioro continuo, siendo esto una importancia para la identificación y comprensión de las causas y con ello implementar medidas que ayuden a cumplir el ciclo de vida del pavimento y con ello mejorar el estado de la vía, garantizando la seguridad y la eficiencia del transporte en el cantón Guano. Este problema se agrava aún más debido a la presencia de factores externos que ayudan al deterioro del pavimento. La presente investigación se centra en evaluar y medir los componentes externos que causan un deterioro del pavimento flexible en las vías de segundo orden del Cantón Guano buscando investigar en qué medida afectan los factores como el clima, tráfico vehicular, condiciones del suelo, calidad, proceso constructivo y el uso que se le da día a día a la vía por parte de vehículos de todo tipo, que desencadena un desgaste irregular de la carretera. (Árevalo, 2019)

Por ello surge la siguiente pregunta principal para el tema investigativo, ¿En qué medida los factores externos influyen en el desgaste de las vías de segundo orden del cantón Guano?

1.2 JUSTIFICACIÓN

El estudio proporcionará información para las autoridades locales y otras partes interesadas para desarrollar políticas y estrategias efectivas que aporten el diseño y el mantenimiento vial. Al comprender mejor las incidencias de los factores externos en el deterioro del pavimento flexible de las vías del cantón Guano, es fundamental ya que así se podrán desarrollar estrategias efectivas para el diseño y mantenimiento vial que mejoren la seguridad, dando paso a la creación de nuevos trabajos investigativos que estarán netamente enfocados en el ámbito de diseño, gestión y mantenimiento vial, lo cual ayudara a la conectividad y el desarrollo del cantón optimizando la inversión pública del estado, para de esta manera asignar recursos de manera más eficiente y priorizar intervenciones que promuevan una infraestructura vial sostenible y resiliente en el Cantón Guano.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Analizar y determinar en qué medida los factores externos que inciden en el deterioro de los pavimentos flexibles en las vías de segundo orden del cantón Guano.

1.3.2 ESPECÍFICOS

Identificar fallas y evaluar el PCI de las vías secundarias del cantón Guano.

Definir factores externos que pueden incidir en el deterioro de los tramos críticos de las vías de segundo orden.

Medir cómo los factores externos impactan en el estado de las vías.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Con el transcurso del tiempo, han surgido distintas técnicas y procedimientos para la correcta construcción de carreteras. En la actualidad, nos encontramos con rutas que emplean pavimento flexible, rígido, ó articulado ofreciendo vías seguras y consistentes. En este análisis nos centraremos en el pavimento flexible. Este se define como aquel constituido por una capa o carpeta asfáltica, utilizando una mezcla de agregados gruesos o finos como ripio, arena y grava con materiales provenientes del petróleo (Robinson, 2014). Esta composición es espesa, pero lo adecuadamente flexible para absorber impactos formidables y resistir un alto volumen de tráfico pesado. Este tipo de pavimento es utilizado principalmente para construir carreteras, autopistas, aeropuertos, y estacionamientos donde se necesite una superficie de rodamiento para soportar un tráfico pesado y constante.

La forma en la que se compone las capas de un pavimento flexible es de mayor a menor en capacidad de carga, donde la capa superior es la que debe soportar mayor capacidad de carga, y donde se encuentra la subbase es la capa que menos carga resiste. (Romero, 2017)

El principal componente del pavimento flexible es la capa bituminosa, que está apoyada en capas inferiores denominadas base, subbase y subrasante; sin embargo, es posibles posponer estas capas dependiendo de la aptitud de la subrasante y de las necesidades de cada proyecto. (Flores, 2018)

El trabajo de investigación propuesto trata sobre la comprender como los factores externos afectan el desgaste del pavimento es fundamental, para posterior surjan nuevas investigaciones para desarrollar estrategias efectivas de mantenimiento y rehabilitación de las vías. La identificación de las causas principales del deterioro permite implementar medidas anticipadas y correctivas correctas, optimizando de esta manera los recursos disponibles y garantizando la seguridad y eficacia del sistema vial. (Cedeño & Cevallos, 2014)

1.4 CARACTERÍSTICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Para cumplir adecuadamente las funciones de un pavimento esta debe reunir algunos requisitos como:

Resiste a cargas de tránsito.

Resistente a agentes de desgaste.

Textura superficial uniforme de acuerdo a la velocidad de diseño de los vehículos.

Resistente al desgaste por efecto de abrasión.

Presentar regularidad superficial, para comodidad y seguridad de usuarios.

Condiciones adecuadas de drenaje. (Fonseca, 2002).

1.5 ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es un método estandarizado que permite cuantificar el estado superficial de un pavimento a través de una inspección visual detallada. Este índice se expresa en una escala numérica que va de 0 a 100, donde un valor de 100 indica un pavimento en condiciones adecuadas sin deterioro, y un valor de 0 indica una condición de falla total (University of California , 2021).

La metodología PCI fue estandarizada mediante la norma ASTM D6433, la cual define los procedimientos para la evaluación de pavimentos asfálticos. Su aplicación implica la identificación y cuantificación de tipos de fallas, la severidad de las mismas y su extensión en el área analizada (ASTM D6433-20, 2020). Esta metodología es ampliamente utilizada a nivel internacional como una herramienta de diagnóstico y gestión de redes viales.

Clasificación del PCI

El resultado del PCI permite categorizar el estado del pavimento en diferentes niveles, facilitando la toma de decisiones técnicas respecto al tipo y urgencia de mantenimiento necesario. La tabla 1 resume la clasificación más común del PCI:

Tabla 1. Clasificación del PCI

Rango de PCI	Clasificación
85 – 100	Excelente
70 – 84	Bueno
55 – 69	Regular
40 – 54	Deficiente
25 – 39	Muy deficiente
10 – 24	Crítico
0 – 9	Fallido

Fuente: ASTM D6433 (2004)

Basándonos en esta clasificación podemos establecer prioridades de intervención dentro de los planes de mantenimiento vial, los índices de condición del pavimento inferiores a 40 suelen requerir una reconstrucción o rehabilitación estructural, mientras que los que poseen valores superiores a 70 solo necesitarían mantenimientos rutinarios. (Justavino, 2022)

1.6 FACTORES EXTERNOS QUE INTERVIENEN AL DETERIORO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Existen diversos factores externos que pueden contribuir al deterioro de los pavimentos flexibles. Entre ellos se encuentran:

1.6.1 Factor Constructivo:

Errores o fallos en la planificación y diseño de los pavimentos flexibles, como la selección inadecuada de materiales o subdimensionamiento de estructuras, que pueden llevar a una vida útil reducida y mayor necesidad de mantenimiento. El deterioro del pavimento flexible se origina en general por un defecto constructivo, por un defecto en la calidad de producto o por condición local particular que el tráfico resalta. (Boris, 2019)

1.6.2 Edad:

La duración estimada que un pavimento flexible puede resistir las condiciones de tráfico y ambientales antes de requerir reparaciones o rehabilitación para mantener su funcionalidad y seguridad. La edad del pavimento se refiere al tiempo transcurrido desde su construcción o desde su última intervención como una rehabilitación.

Una de las causas externas del deterioro del pavimento flexible es la edad, debido a que sus componentes sufren transformaciones que reducen su desempeño funcional y estructural. (Saleh, Mocelin, & Elwardany, s.f.)

1.6.3 Factores Geotécnicos:

Los dos principales factores que más afectan a las características del suelo son la presencia de agua subterránea y la capacidad de carga del suelo. (Rebolledo & Miranda, 2010)

La saturación del suelo por el agua reduce significativamente la rigidez del material subyacente, provocando deformaciones plásticas bajo cargas repetidas. Estas deformaciones acumuladas generan fatiga en las capas superiores, causando fisuras, y pérdida de capacidad estructural del pavimento. (Massenlli & Paiva, 2019)

1.6.4 Factor Climático:

El clima comprende el conjunto de condiciones atmosféricas promedio que caracteriza una región durante un periodo prolongado incluyendo factores como la temperatura, la precipitación, la humedad ambiental y el viento. El clima se considera como una causa externa clave del deterioro del pavimento flexible, ya que influye directamente sobre sus propiedades físicas y químicas. (Liu & Yu, 2013).

Son las condiciones atmosféricas y de humedad, así como la exposición al agua y las precipitaciones, que pueden afectar la resistencia y durabilidad de los pavimentos flexibles, contribuyendo al deterioro y necesidad de mantenimiento. (Montejo, 2018).

1.6.5 Factor Humano:

El factor humano en el desgaste del pavimento flexible se origina en las decisiones y comportamientos de los conductores, debido a que evitan peajes y utilizan rutas alternas no diseñadas para soportar grandes volúmenes de tráfico. Esta situación genera una sobrecarga en vías asfálticas, generando baches y fisuras. Además, la falta de planificación en el uso de estas rutas acelera el deterioro, acorta su vida útil e incrementa los costos de mantenimiento. La ausencia de control adecuado y el incumplimiento de normativas viales agravan el problema, afectando la seguridad y eficiencia del sistema de transporte. (Crespo & Tinoco, 2017)

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

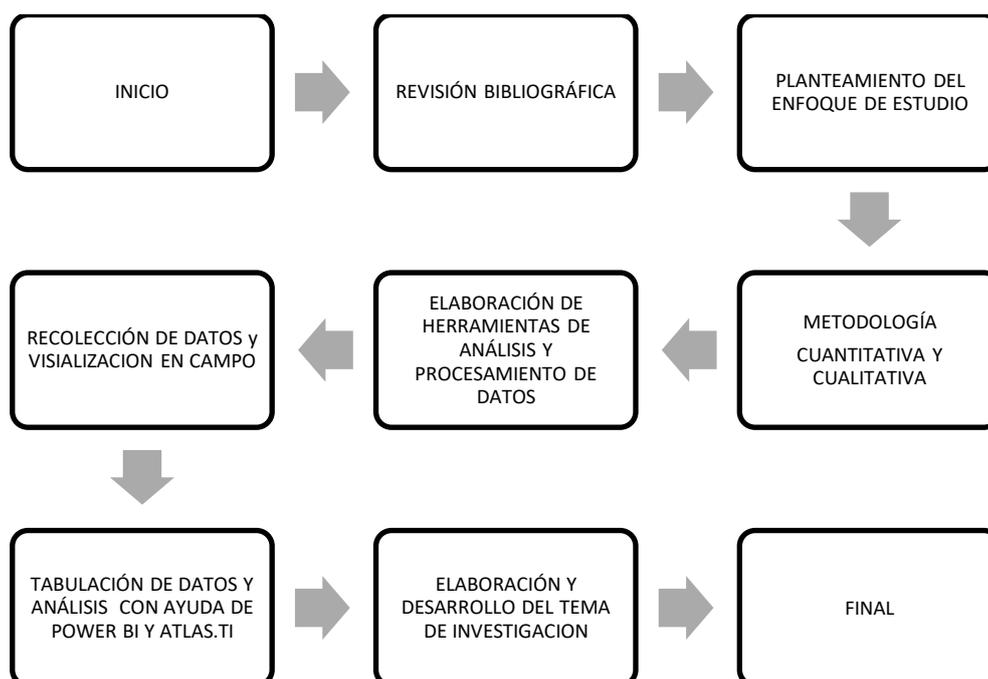


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología del tema de investigación.

1.7 ENFOQUE DE ESTUDIO

El enfoque de estudio fue tanto cuantitativo como cualitativo en la cual se analizará los factores externos que afectan el deterioro de los pavimentos flexibles en vías de segundo orden del cantón Guano. Se realizó una recopilación de información preliminar sobre las características geográficas, climáticas y de tráfico de la zona. Luego, se identificaron y seleccionaron tramos representativos para el estudio, considerando diversas condiciones del pavimento y tráfico vehicular. Se identificaron los tipos de fallas existentes en las vías de análisis mediante técnicas de inspección visual. Posteriormente, se identificaron y caracterizaron los factores externos, como el clima, el tráfico vehicular y la calidad de los materiales, mediante análisis estadísticos y correlacionales. Se analizaron la relación entre el deterioro del pavimento y estos factores externos. Finalmente, se elaboraron conclusiones y recomendaciones para mejorar el diseño, la construcción y el mantenimiento de las vías de segundo orden, con el fin de prolongar su vida útil y garantizar su calidad.

1.8 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

La evaluación de la condición superficial de los pavimentos puede realizarse mediante diversos métodos caracterizados por su simplicidad y por no requerir equipos de medición sofisticados. Entre estos, la inspección visual se reconoce como una de las

herramientas más relevantes, dado que forma parte esencial de cualquier proceso de diagnóstico del estado funcional del pavimento. (Gonzales, 2005)

Este procedimiento se desarrolla comúnmente en dos etapas: una inspección preliminar y una inspección detallada. La fase preliminar tiene como objetivo proporcionar una visión general del estado de la vía, y para ello se realiza un recorrido en vehículo a baja velocidad, cubriendo la totalidad del tramo a evaluar. (Pineda, 2015)

En contraste, la inspección detallada implica un recorrido a pie sobre la superficie de la calzada, durante el cual se documentan de forma minuciosa las patologías visibles, tales como grietas, baches, fisuras longitudinales, piel de cocodrilo entre otras. Asimismo, en esta etapa se registran observaciones adicionales que pudieran incidir en el desempeño estructural y funcional del pavimento, con el propósito de obtener un diagnóstico integral y preciso. Además, se recopiló información sobre variables externas como clima, sistema constructivo, edad, factores geotécnicos y humanos. Se emplearon técnicas estadísticas para analizar la relación entre el estado del pavimento y estos factores externos. La metodología incluyó la correlación de datos y el análisis de tendencias. (Pineda, 2015)

1.9 MÉTODOS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Para llevar a cabo la evaluación superficial de los pavimentos pertenecientes a la red vial seleccionada, se han considerado tres etapas fundamentales, orientadas a identificar de manera puntual los defectos presentes en la vía.

El proceso de evaluación se basa, en términos metodológicos, en la recopilación de datos conseguidos a través de la inspección visual. Esta acción consiste en registrar de manera técnica las observaciones elaboradas a lo largo de la vía, ya sea con ayuda de un medio de transporte o caminando, utilizando planillas previamente diseñadas para este fin. (Booz, Barriga, & Wilbur, 1999)

A continuación, se describen las fases que conforman este procedimiento de evaluación:

Fase 1: Inspección visual de la vía

Esta etapa examina un recorrido de la vía en estudio, con el propósito de conseguir información. Para ello, se seleccionan tramos que presenten condiciones similares en cuanto a sus características geométricas y estructurales.

La inspección se realizó conduciendo un vehículo a baja velocidad, permitiendo observar el estado de la vía, para que, en caso de identificar cambios significativos en la estructura, tipo de superficie o en la sección transversal, se logre realizar una subdivisión en estos puntos de cambio. Para facilitar la organización de la información recolectada y obtener una evaluación adecuada en ambas trayectorias del flujo vehicular, los tramos deben ser identificados de una

manera puntual, en la cual se observe el punto de falla crítica en la vía. (Booz, Barriga, & Wilbur, 1999)

Fase 2: Observación de fallas

Durante esta etapa se procede a identificar visualmente los daños presentes en el pavimento, mediante un recorrido a baja velocidad. Adicionalmente, se realizan entre dos y tres detenciones por tramo, lo que permite examinar de cerca las fallas observadas, clasificándolas según su tipo de falla y la causa que pudo provocar el deterioro en la zona de análisis.

Fase 3: Registro fotográfico y registro en planillas de evaluación.

Las observaciones realizadas durante la inspección visual fueron registradas en planillas técnicas, lo que permite cuantificar el número de fallas presentes en las vías analizadas. Este registro constituirá la base para obtener un diagnóstico de las condiciones del pavimento, y servirá como insumo para la planificación de estrategias de conservación vial.

La recopilación, organización y análisis de los datos se llevará a cabo con el apoyo de herramientas informáticas, que para el uso de la misma contamos con licencias educativas para Microsoft Excel, Power BI y Atlas.ti, las cuales facilitarán la gestión de la información y la generación de gráficos, indicadores y visualizaciones dinámicas.

En primer lugar, se realizó un análisis estadístico descriptivo para examinar medidas de tendencia central, dispersión y frecuencia, proporcionando una visión general del estado de las vías y de los factores externos evaluados. Posteriormente, se aplicó un análisis de correlación con el fin de determinar las relaciones existentes entre el estado del pavimento y variables tales como el clima, el tipo de estructura constructiva, la antigüedad de la vía, las condiciones geotécnicas y los factores humanos.

Se analizó los datos obtenidos en campo que están expresadas de forma cualitativa que posterior a ello se aplicaron técnicas de análisis para identificar posibles causas del deterioro.

La combinación de resultados cuantitativos y cualitativos permitirá no solo establecer un diagnóstico integral sobre la condición actual de la infraestructura vial, sino también generar insumos clave para futuras investigaciones orientadas a la preservación y gestión sostenible de la red vial. Asimismo, la documentación detallada del proceso de integración de datos, así como de los desafíos metodológicos encontrados, constituye una guía valiosa para otros investigadores, promoviendo la aplicación de enfoques mixtos en estudios relacionados. (Salazar & Gonzalez, 2023)

1.10 MUESTRA

Considerando la importancia de representar adecuadamente la totalidad de la red vial en el estudio, se ha diseñado un enfoque de muestreo seleccionando las vías secundarias. La selección de estas vías no es aleatoria; se justifica por ser las que presentan varias fallas en términos de su estado y las que se encuentran más afectadas dentro del cantón Guano. El propósito es entender a fondo las razones de su deterioro, estudiando estas vías por separado realizando un escogimiento entre las vías principales y secundarias, siendo nuestro análisis de estudio las vías secundarias las cuales cuentan con diversos problemas similares o superiores a las vías principales. Al analizarlas individualmente, podemos entender mejor sus necesidades y ofrecer recomendaciones específicas para su cuidado. Para facilitar la recopilación de datos, se usó programas que ayuden a la digitalización de matrices como lo es el uso de Excel que ayudará a tener una base de datos recopilada del trabajo en campo y posterior a ello se realizarán matrices para ser utilizados en el software denominado Power Bi para facilitar el análisis de las diversas variables a correlacionar, dicho programa nos ayuda a convertir datos complejos en diversas gráficas de análisis que nos permiten identificar problemas y tendencias y compartir esta información para llevarla al análisis y optar por mejores decisiones según el problema a resolverse. El uso de herramientas tecnológicas como Excel y Power Bi ayudan a la visualización de datos cuantitativos, que luego serán ocupados por el software Atlas.ti para catalogar y formar relaciones entre variables que ayudan a la interpretación de causas y consecuencias relacionadas al deterioro de la vía. (Kalpokaite, 2019)

Con el fin de delimitar el área de estudio y seleccionar los tramos viales más representativos para el análisis técnico de pavimentos asfálticos deteriorados, se identificaron diversas vías de segundo orden pertenecientes al cantón Guano. A continuación, se presenta la relación de las vías seleccionadas, las cuales constituyen la muestra principal de esta investigación.

Tabla 2. Vías analizadas de segundo orden del cantón Guano.

Vías Secundarias	KM
San Isidro Josefina	2.5
Talaguag	4
San Pablo Talaguag	1.8
Vía Urbina	6.5
Guano Santa Teresita	7
Guano Illapo	12
Guano San Andrés	1.2
Santa Fe De Galán	6.5

Valparaíso	4.2
Total. KM	45.7

Fuente: Elaboración propia (2025)

La Tabla 2 presenta la relación de las vías de segundo orden seleccionadas como muestra representativa para el desarrollo de este estudio. La elección de estos tramos viales no fue aleatoria, sino que responde a criterios técnicos específicos, siendo el principal de ellos la composición asfáltica de sus superficies de rodadura, lo cual resulta fundamental para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación.

Si bien estas vías pertenecen a la red secundaria del cantón Guano, presentan fallas tanto estructural como funcional, evidenciado a través de manifestaciones como fisuras, baches, desprendimiento de material, huecos, entre otras. Este nivel de deterioro es considerablemente mayor en comparación con otras vías asfálticas del mismo cantón, lo cual las convierte en casos de estudios aptos para analizar los mecanismos de degradación del pavimento asfáltico y su relación con factores constructivos, clima, geotécnicos, humanos y edad.

El análisis de estas vías pavimentadas permite identificar patrones comunes en el comportamiento del pavimento flexible, condiciones operativas y climáticas, así como establecer correlaciones entre el tipo y severidad de las fallas y las posibles causas que las generan. Asimismo, esta selección contribuye a delimitar el alcance del estudio, enfocando los estudios analíticos en una muestra manejable pero representativa, que aporte resultados significativos para la gestión vial del cantón Guano y que pueda ser replicada en contextos similares dentro de la provincia o a nivel nacional.

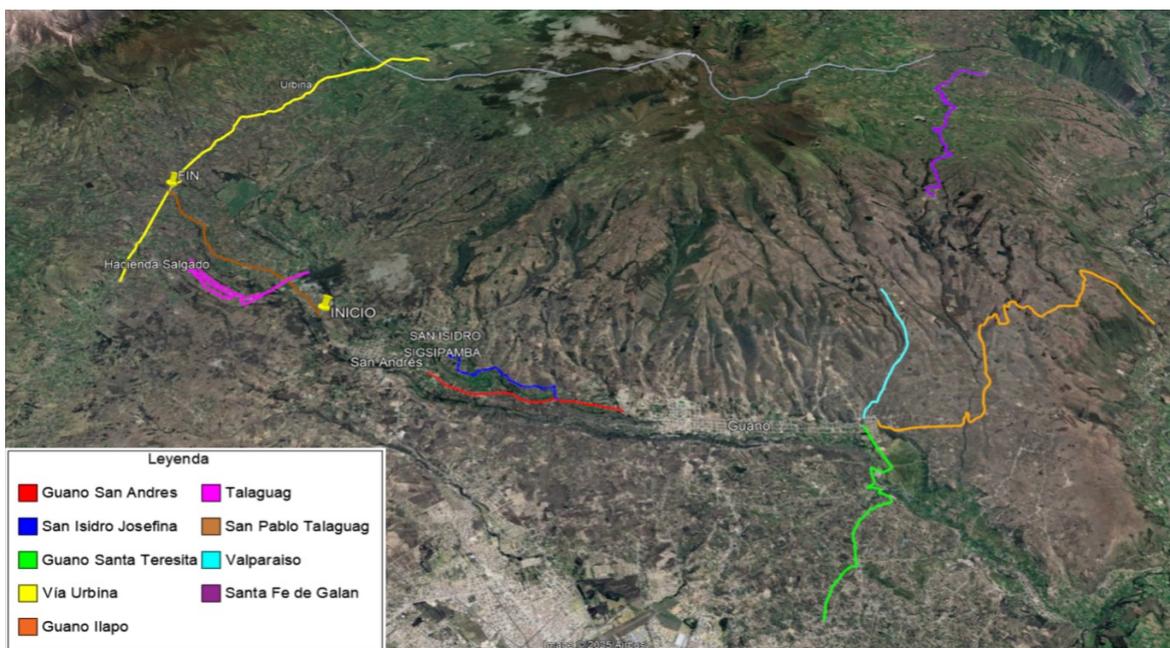


Figura 2. Vías asfálticas secundarias del cantón Guano

La Figura 2 presenta la delimitación geográfica de las vías seleccionadas para el análisis del deterioro en pavimentos flexibles, esta selección se fundamenta en criterios técnicos que consideran la necesidad de analizar las condiciones de la infraestructura vial del cantón Guano, enfocándose particularmente en su red vial secundaria. Estas vías representan un punto clave para el estudio, ya que su estado actual permite identificar las fallas críticas que afectan al pavimento flexible. A partir de este análisis preliminar, se busca determinar tanto las causas como las consecuencias de dichas fallas.

En la figura 2 se observa la leyenda detallada donde permite identificar claramente cada una de las vías analizadas, las cuales fueron georreferenciadas y categorizadas de acuerdo a sus características y nombres. Las rutas se usaron para identificar en campo las zonas para realizar el recorrido, en la cual se llevará acabo la inspección visual para obtener un registro de los tipos de fallas presentes en la vía.

El levantamiento de información de campo nos ayuda a tener una representación de las condiciones actuales del pavimento que nos permite identificar patrones de deterioro al igual que sus posibles causas que intervengan a dar soluciones como estrategias de mantenimiento.

1.11 CLASIFICACIÓN DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Esta evaluación tiene como fin llevar a cabo la evaluación del estado de los pavimentos flexibles, donde se necesita establecer una clasificación de distintos tipos de fallas para mejorar su comprensión y facilitar el procesamiento de datos con herramientas digitales.

La siguiente tabla muestra la clasificación de fallas generales representativas.

Tabla 3. Clasificación de Fallas Generales

Falla General	Fallas
	Roderas o ahuellamiento
Deformaciones Permanentes	Abultamientos y Hundimientos
	Corrimiento / Desplazamiento
	Longitudinal/ Transversal
Fisuración o Agrietamientos	Fisuras en bloque
	Piel de cocodrilo
	Fisura de arco

	Desprendimiento de agregados
Desintegraciones	Bache/Servicio
	Fisuras de borde
	Huecos
Otros modos de falla	Escalonamiento Calzada

Fuente: Departamento de administración y evaluación de pavimentos (2016).

La tabla 3 indica la clasificación de fallas del pavimento flexible, que cuenta como categorías a deformaciones permanentes, fisuración o agrietamiento, desintegración y otros modos de falla.

Esta agrupación de palabras nos ayuda a estandarizar la base de datos para su análisis mediante el software Microsoft Power BI, la cual ayuda a generar diagramas dinámicos, filtrar información y establecer correlaciones entre variables.

La clasificación ayuda a una mejor comprensión de lectura de los distintos tipos de deterioro en las vías analizadas, manteniendo un equilibrio entre especificación técnica y facilidad de interpretación. Cada categoría general integra fallas con características físicas y funcionales similares, lo que permite identificar patrones de comportamiento en el pavimento y establecer vínculos entre el tipo de falla y factores como el diseño estructural, las condiciones climáticas, la antigüedad del tramo vial o la calidad de los materiales. Además, la agrupación realizada ayuda a optimizar el proceso de evaluación, permitiendo obtener resultados sobre los datos obtenidos en campo.

Dicha agrupación de datos al ser compatible una vez realizada sus matrices se puede dar uso a herramientas de análisis visual como el Power Bi, la cual permite arrojar resultados de la información recolectada en campo con diagramas dinámicos y una clasificación de la misma, también nos ayuda a una mejor interpretación de datos, contribuyendo en la toma de decisiones. De esta manera, se optimiza el análisis de las condiciones viales al realizar la agrupación de las fallas y ordenar las causas asociadas a la misma, permitiendo de esta manera una evaluación entre varias variables.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.12 RESULTADOS

Recopilación de información de la zona de estudio.

La información que se presenta se basa en inspecciones visuales de campo realizadas en las vías secundarias del cantón Guano. Este trabajo de observación directa permitió registrar y documentar de forma sistemática los tipos de fallas visualizadas en el pavimento flexible, con el fin de caracterizar el estado actual de la red vial secundaria de la zona.

El presente estudio se sustenta también en un respaldo teórico conformado por diversas fuentes bibliográficas procedentes de Ecuador y América Latina, enfocadas en la evaluación, clasificación y diagnóstico de fallas en pavimentos flexibles. Estas referencias aportan criterios técnicos y metodológicos que fortalecen el análisis y la validez de los resultados obtenidos en el área de estudio.

En este capítulo se presenta una descripción detallada de las fallas identificadas en el cantón Guano, clasificando cada una de ellas en función de su tipología, área afectada, localización específica, causas probables y otros elementos relevantes.

El análisis del deterioro del pavimento flexible en las vías proporciona una visión general del estado actual de las vías, obteniendo de esta manera información útil para la planificación de estrategias de mantenimiento vial y mejorar la toma de decisiones para el mejoramiento de la infraestructura.

Comportamiento del PCI a lo largo del tramo vial.

Para el análisis del estado del pavimento flexible primeramente se partió de una base de datos proporcionada por trabajos de investigación formativa de la materia de gestión vial de los semestres 2024-1s y 2024-2s que se visualiza en el anexo 4 (Gestión vial, 2024).

Junto a la base de datos se lleva a cabo el cálculo de PCI promedio para realizar la evaluación de la misma de acuerdo a los indicadores de PCI y junto a ello la identificación de puntos críticos de cada tramo vial. El análisis del PCI promedio de cada vía de acuerdo al anexo 3, donde se realiza la representación gráfica basado en la distribución del Índice de condición del pavimento (PCI) a lo largo de los diferentes tramos viales. Las gráficas desarrolladas nos permiten visualizar la variación del PCI, lo que permite clasificar cada segmento según su estado de conservación. Los valores más altos del PCI representan condiciones favorables de la vía tanto físicas como funcionales del pavimento flexibles, mientras que los valores bajos nos indica deterioros que afectan al desempeño vial.

Este enfoque aparte de identificar los tramos en buen estado, también nos ayuda a ver las secciones con deterioro significativo que podrían poner en riesgo la seguridad y la funcionalidad de la vía si no se interviene a tiempo.

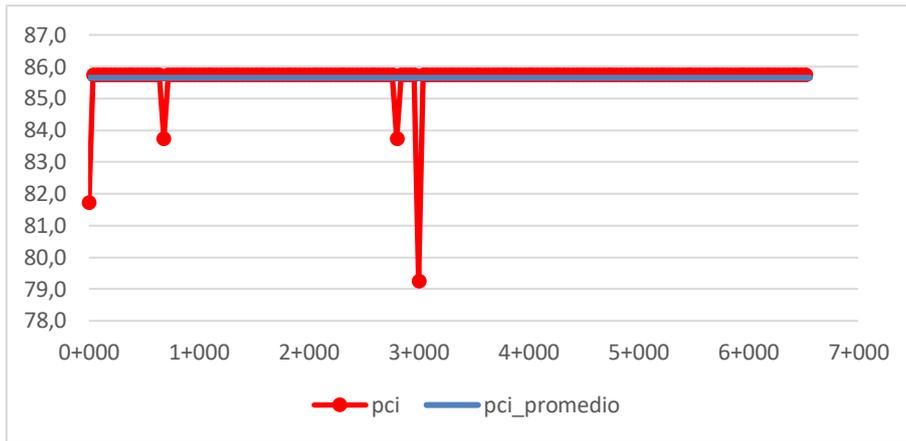


Figura 3a. PCI en la vía Urbina

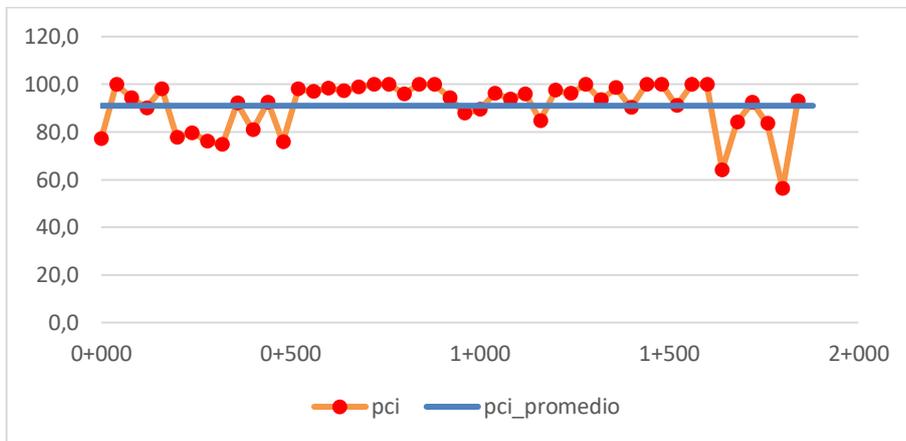


Figura 3b. PCI de la vía San Pablo – Talaguag

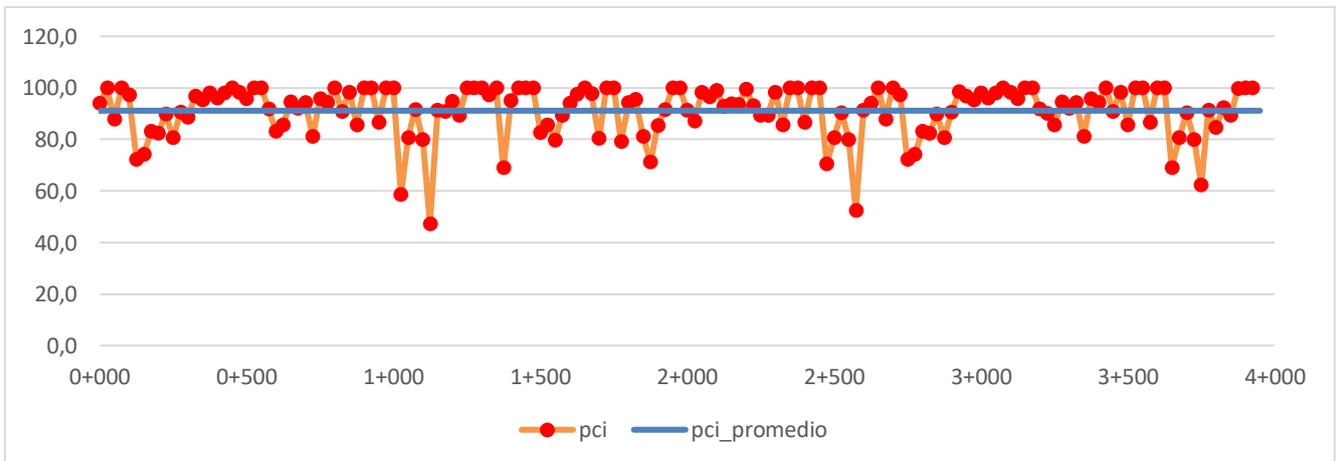


Figura 3c. PCI de la vía Talaguag

El análisis del comportamiento del Índice de Condición del Pavimento (PCI) que se visualiza en la figura 3a, 3b, 3c, permite probar la variabilidad del estado del pavimento flexible a lo largo del tramo vial. La figura 3a, representa la vía Urbina, siendo el PCI promedio de 85.7, lo que ubica a este tramo vial en la categoría de “Buena” según la metodología de clasificación. No obstante, la distribución de los valores a lo largo del tramo revela fluctuaciones importantes que permiten identificar zonas críticas. Entre ellas se destacan caídas localizadas del PCI en las abscisas K0+000 (PCI=81.7), K0+680 y K2+800 (PCI=83.7), siendo la más notable la registrada en K3+000, donde el PCI desciende hasta 79.3, clasificando ese segmento como de condición “Regular”. Estas variaciones evidencian la presencia de fallas estructurales o superficiales que podrían estar asociadas a fisuras, baches, deterioro por fatiga o problemas de drenaje. En consecuencia, este tramo requiere intervenciones específicas para corregir estos defectos antes de que evolucionen hacia estados severos.

Por otro lado, la figura 3b, representa la vía San Pablo–Talaguag la cual indica un comportamiento óptimo, con un PCI promedio de 91, lo que la posiciona dentro de la categoría “Excelente”. A pesar de ello, no se debe asumir una condición similar, ya que el análisis revela que entre la abscisa K0+00 y K1+000 existen valores intermedios como 77, 74.7 y 75.7, que indican un estado Bueno y que, aunque no representan un deterioro severo, sí son señales tempranas de afectación superficial. Estas áreas deben ser consideradas para mantenimiento preventivo con el objetivo de preservar el nivel funcional del pavimento. Por otra parte, el tramo comprendido entre las abscisas K1+600 y K2+000 metros presenta una disminución del PCI con valores de 64.1 y 56.2, lo que corresponde a una condición Regular y Deficiente respectivamente. Esta situación exige una intervención correctiva, ya que el deterioro en estas zonas podría comprometer la seguridad vial si no se atiende de forma inmediata.

En cuanto la figura 3c, representa la vía Talaguag, en la cual se registra un PCI promedio de 91.1, también clasificado como “Excelente”, pero con una variabilidad significativa a lo largo de sus 4000 metros. El análisis revela sectores críticos en la abscisa K1+000 (PCI de 58.6 y 47.2), abscisa K2+575 (PCI de 52.4) y en las cercanías de la abscisa K3+800 (PCI de 62.4), todos los cuales se ubican en categorías “Deficiente” o “Regular”. Aunque la mayoría del tramo mantiene valores superiores a 85, estas zonas con deterioro evidente requieren una atención primordial. Se observa además una tendencia dispareja, especialmente entre la abscisa K1+500 y K2+600, donde aparecen valores intermedios que oscilan entre “Bueno” y “Regular”, lo que sugiere un patrón de deterioro progresivo. Esta estrategia de análisis segmentado es esencial para una adecuada planificación del mantenimiento, priorizando recursos de manera eficiente mediante la aplicación de tratamientos preventivos en zonas con desgaste inicial y correctivos en sectores con deterioro avanzado.

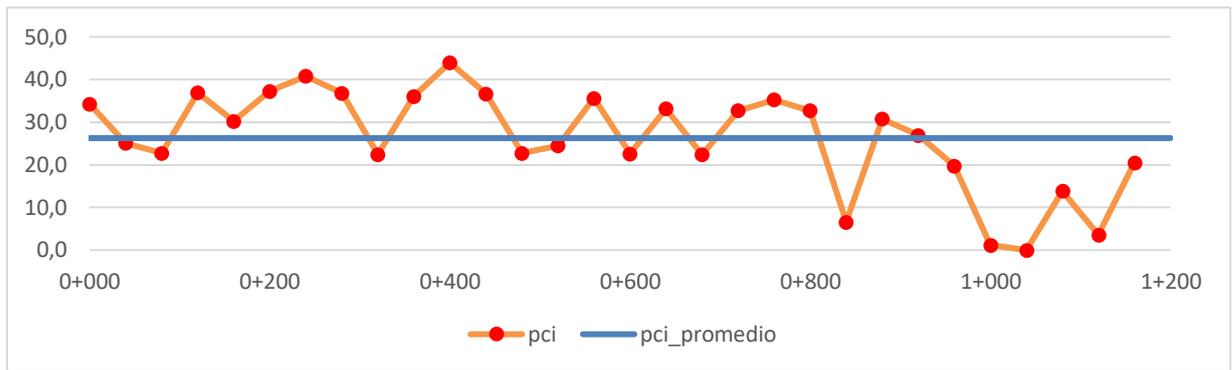


Figura 4.PCI en la vía Guano-San Andrés

En la figura 4 se puede observar claramente el comportamiento variable del PCI de la vía Guano San Andrés, lo cual indica que existen secciones con deficiencia en condiciones estructurales y funcionales, y otras con deterioro fallido. El valor promedio del PCI, representado por la línea azul horizontal, se sitúa en $PCI=26.3$, lo que, según la metodología de evaluación del PCI, clasifica a la vía en una condición "Mala". Sin embargo, es importante destacar la presencia de varios tramos que presentan valores significativamente por debajo del promedio, especialmente entre los tramos K0+900 a K1+100, donde el PCI cae por debajo de un $PCI=10$, alcanzando incluso valores cercanos a 0, lo que indica un deterioro severo del pavimento, clasificada como una condición "Fallido" y por ello estas zonas requieren atención prioritaria, ya que representan tramos críticos que podrían afectar gravemente la funcionalidad y seguridad de la vía.

Por otro lado, otros tramos ubicados entre K0+000 y K0+500, presentan PCI entre 30 y 45, que corresponden a condiciones "Muy Deficiente" a "Deficiente", lo que indica que, a pesar de que no están en óptimas condiciones, requieren intervenciones correctivas antes de que evolucionen a estados críticos. Solo unos pocos tramos puntuales superan los 40 puntos, alcanzando una clasificación "Deficiente", pero no se registra ningún tramo que califique como "Regular", "Bueno" o "Excelente".

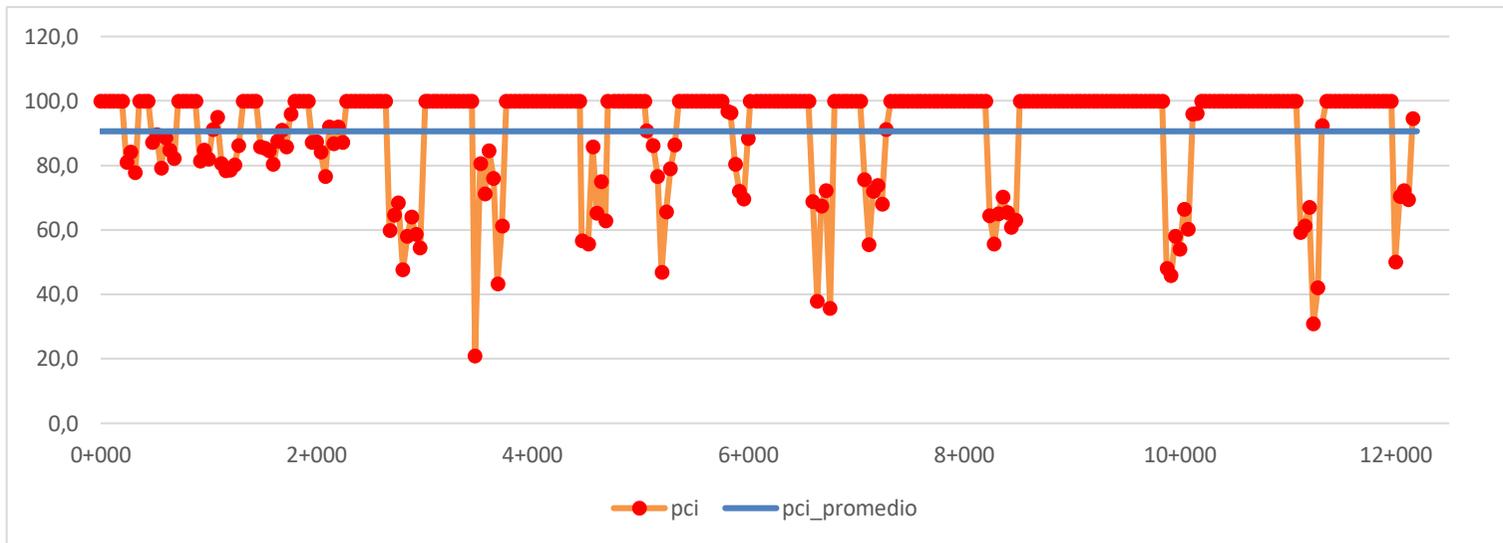


Figura 5a. PCI en la vía Guano-Ilapo

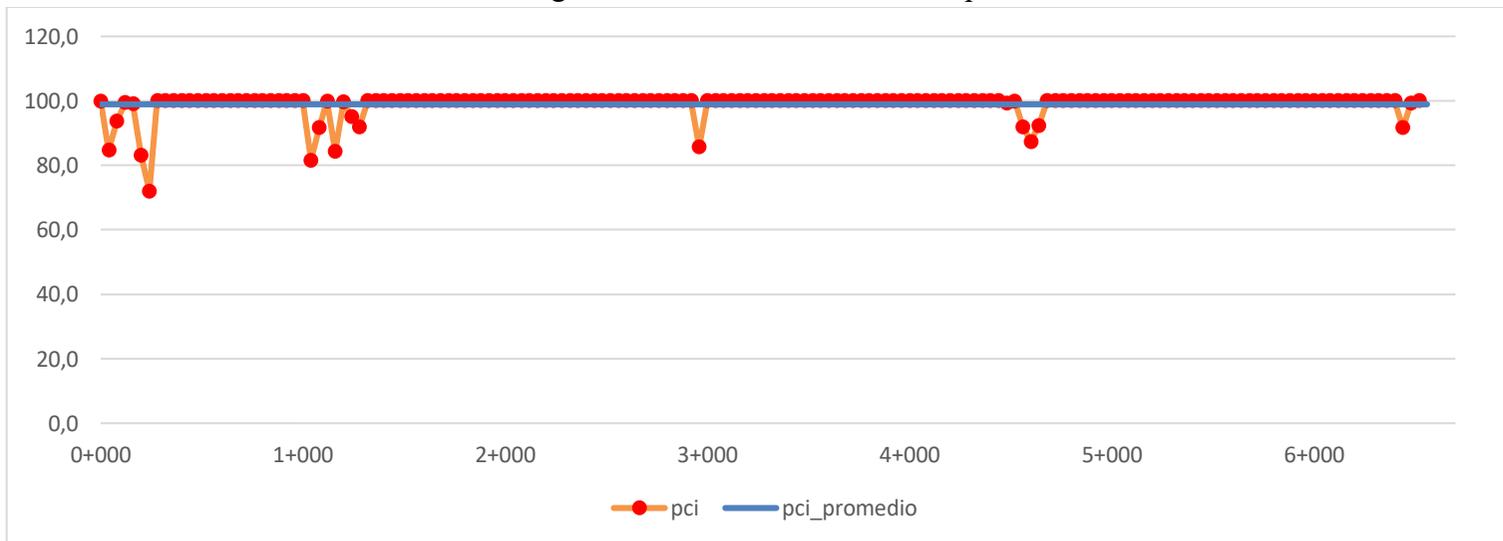


Figura 5b. PCI de la vía Santa Fe de Galán.

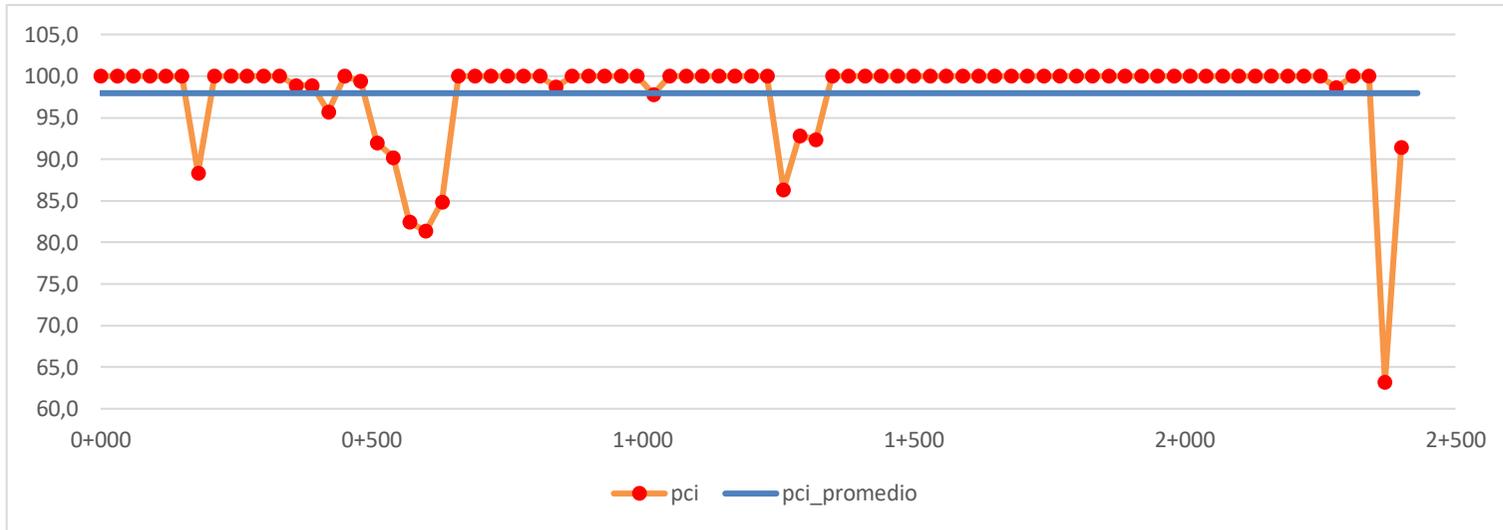


Figura 5c. PCI en la vía San Isidro Josefina.

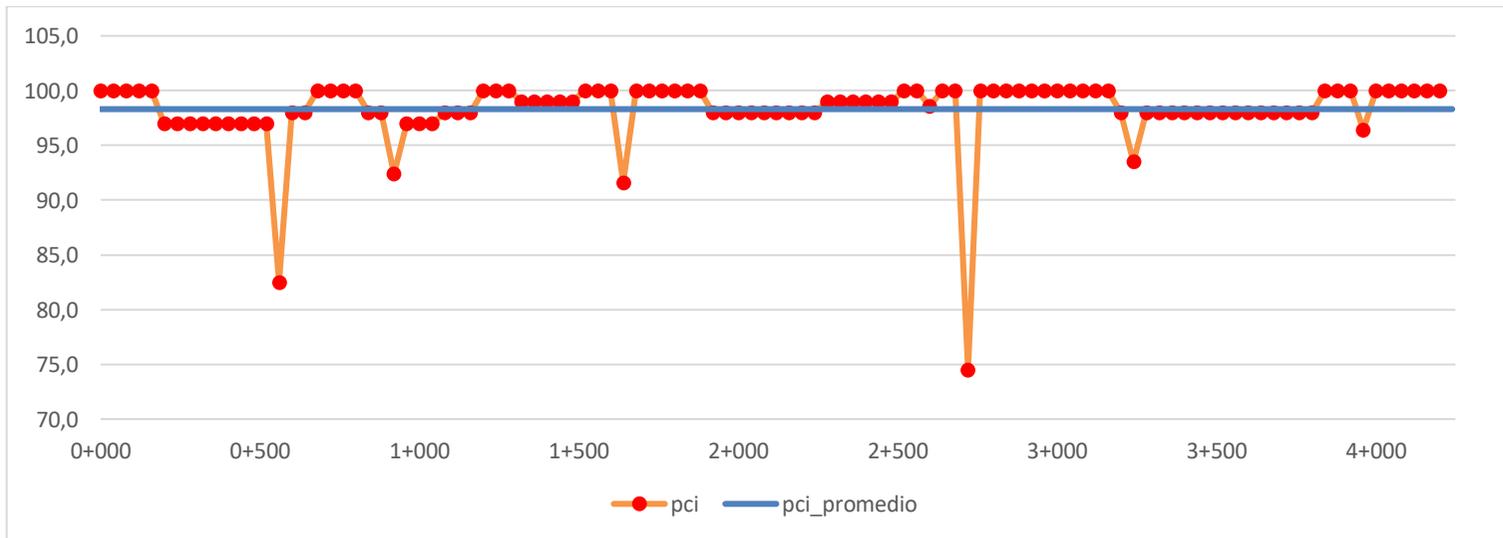


Figura 5d. PCI en la vía Valparaíso.

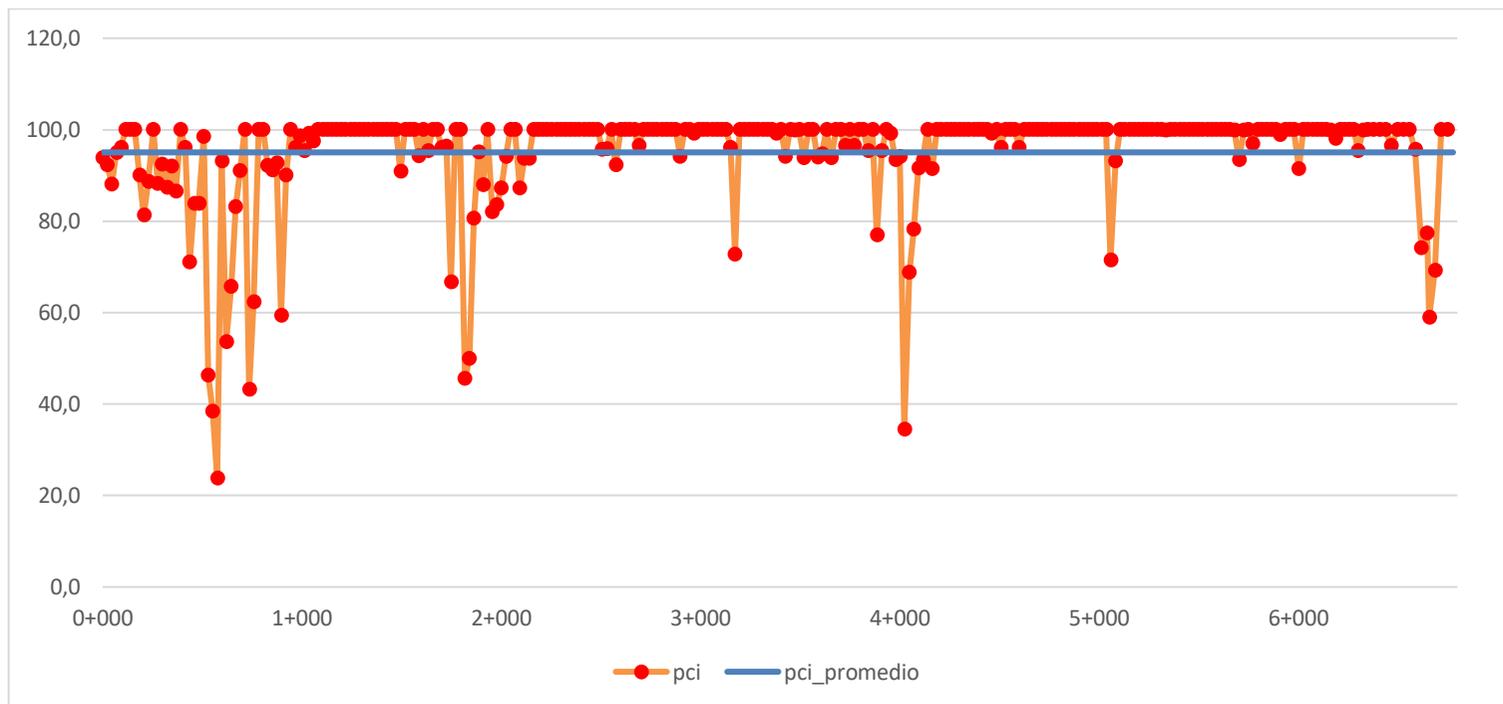


Figura 5e. PCI en la vía Guano Santa Teresita.

La figura 5a, perteneciente a la vía Guano–Illapo muestra un comportamiento general favorable, con un PCI promedio cercano a 90, clasificado como “Excelente”. Sin embargo, esta condición general es interrumpida por tramos con deterioro severo. Se destaca el punto K0+3470, con un valor de PCI igual a 21, clasificado como “Muy Deficiente”, lo cual refleja un deterioro crítico en esa sección. La presencia de estos valores mínimos, pese al alto promedio general, evidencia una distribución irregular del deterioro, lo que requiere intervenciones correctivas puntuales en lugar de acciones generales. Las causas pueden estar relacionadas con problemas estructurales, tráfico concentrado o fallas en el drenaje.

La figura 5b, nos muestra que la vía Santa Fe de Galán indica un comportamiento del PCI que es satisfactorio con un promedio de 98.9. Los tramos evaluados tienen una condición excelente de PCI mientras más cercano estén del promedio. Sin embargo, se debe mencionar que existen picos en los cuales el PCI desciende a 72 y 85 que lo clasifica como buenos, en los cuales se debe centrar su atención para determinar si es necesario una intervención antes de que ocurran deterioros graves.

La figura 5c, que es la vía San Isidro- Josefina tiene un PCI promedio de 97.9, que indica un grado de funcionalidad óptima. Sin embargo, en abscisas K0+500 y K1+000 se indica valores entre 80 y 85, que según la clasificación del PCI son buenos. El punto más crítico se encuentra entre la abscisa K2+000 y K2+500, con un PCI de 63.2 que es clasificado como regular.

La figura 5d, indica la vía Valparaíso que presenta un comportamiento homogéneo con un PCI promedio de 98.3. La mayoría de los valores se sitúan entre 97 y 100, evidenciando una superficie en excelente estado. Sin embargo, se observan caídas puntuales en las abscisas K0+560 (PCI = 82.5), K2+720 (PCI = 74.5) y otros puntos entre 91 y 93. Aunque aún clasificados como “Buenos” o “Excelentes”, estos valores deben ser monitoreados para evitar el avance del deterioro. El valor de 74.5 en particular, siendo el más bajo, podría señalar un inicio de falla estructural que merece evaluación técnica.

Por último, la figura 5e, que a pesar de poseer un PCI promedio de 95 presenta zonas crítica de deterioro como por ejemplo en los primeros 1000 metros en lo que se identifican condiciones de PCI que van desde deficiente hasta críticas. Otros declives significativos se encuentran en las abscisas K1+817, K4+025, K4+480 y K6+658. Estos puntos indican que necesitan intervenciones a pesar que el estado de la vía haya sido bueno.

El análisis del Índice de condición del pavimento (PCI) nos permite identificar de manera precisa las condiciones funcionales y estructurales del pavimento.

El análisis segmentado ha permitido identificar múltiples zonas críticas con deterioros localizados que contrastan fuertemente con los promedios generales. Esta situación evidencia notablemente en vías como Guano–Illapo y Guano–Santa Teresita, donde a pesar de contar con promedios cercanos a 90 y 95 respectivamente, se observan valores mínimos de PCI como 21 y 23.8, clasificados como “Muy Deficiente” y “Crítico”, por lo que es necesario aplicar una intervención en estos puntos.

Por otro lado, vías como San Isidro–Josefina y Valparaíso, con promedios superiores a 97, también presentan sectores con PCI dentro de la categoría Regular y Bueno, como los valores de 63.2 y 74.5, lo cual confirma la existencia de deterioros puntuales incluso en vías aparentemente en excelente estado. En el caso de Valparaíso, aunque su comportamiento es el más homogéneo de todos los ejes analizados, también se identifica un descenso puntual a PCI = 74.5, considerado “Bueno”, que, si bien no representa una condición crítica, requiere monitoreo y mantenimiento preventivo. Finalmente, la vía Santa Fe de Galán muestra una notable estabilidad en sus condiciones, con valores cercanos a 100 a lo largo de casi toda su extensión, y únicamente algunas caídas menores hacia PCI = 72, lo que refuerza la hipótesis de un adecuado diseño y mantenimiento.

En cuanto a las similitudes detectadas entre las vías, se destaca que en todos los casos se presentan descensos abruptos del PCI, muchas veces ocultos por un promedio alto. Esto refleja que el deterioro del pavimento en estas vías no sigue un patrón progresivo ni homogéneo, sino que responde a condiciones específicas del terreno, defectos constructivos, concentración de cargas o fallas en el drenaje. Asimismo, es común encontrar valores extremos en los primeros 1000 metros de cada vía, como ocurre en Guano–Santa Teresita y Guano–Illapo, lo cual sugiere una posible influencia de accesos principales, mayor tránsito o fallas acumuladas por envejecimiento prematuro en zonas de arranque vial. Otro patrón recurrente es la presencia de valores bajos de PCI alrededor de la abscisa K1+500 a K2+500, como se observa en la vía San Isidro–Josefina, lo cual podría estar asociado a tramos con cambios topográficos, cruces hidráulicos o zonas de carga pesada.

La evaluación del estado del pavimento no debe limitarse a la interpretación del PCI promedio, puesto que puede ocultar zonas de alto riesgo. EL análisis de gráficos nos ayuda a identificar los tramos viales que requieren intervención urgente, así como los que solo necesitan mantenimientos preventivos. Este tipo de análisis asegura una gestión eficiente de los recursos que están destinados al mantenimiento vial, prolongando de esta manera la vida útil del pavimento flexible y mejorar la seguridad y funcionamiento de las vías.

Identificación de las fallas críticas en las vías secundarias del cantón guano.

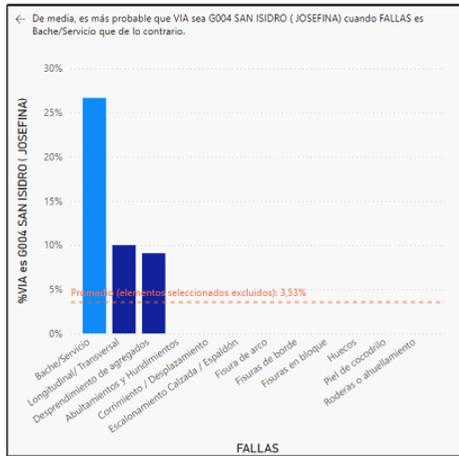
A continuación, se presenta el procesamiento de datos obtenidos durante el trabajo de campo, donde se identificaron las fallas más representativas en las vías secundarias del cantón Guano. Esta tabla que se puede apreciar en el Anexo 1 en la cual se organiza las coordenadas geográficas aproximadas de cada observación, la denominación de las vías evaluadas y los tipos específicos de deterioros superficiales encontrados en el pavimento flexible. La información recolectada tiene una base fundamental para la caracterización del estado estructural y funcional de la red vial, permitiendo posteriormente su análisis técnico y la identificación de zonas críticas que requieren intervención inmediata.

Para el Anexo 1 se parte de la inspección visual de campo y en ella se presenta un registro detallado de las coordenadas geográficas y de los tipos de falla. Cada fila de la tabla

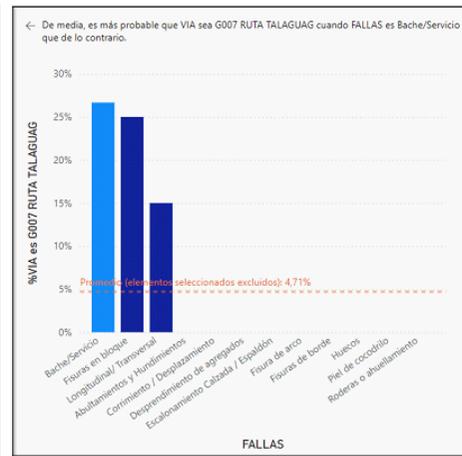
corresponde a una observación específica, donde se registra la ubicación mediante coordenadas UTM (Este “X”, Norte “Y”) y se detalla el tipo de falla superficial identificada, como, por ejemplo: baches/servicio, piel de cocodrilo, fisuras de borde, desprendimiento de agregados, fisuras longitudinales/transversales, escalonamiento, hundimientos, fisuras en bloque, corrimiento y roderas o ahuellamiento.

La información presentada en el anexo 1 permite visualizar de forma clara la distribución y diversidad de los deterioros presentes en las vías secundarias del cantón, lo que será de utilidad para el análisis posterior de las zonas críticas que está representada en la figura 6.

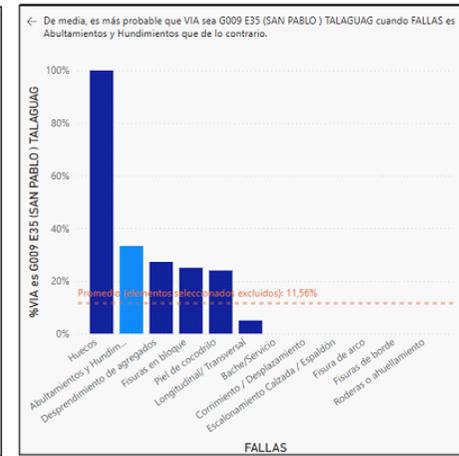
6 a. San Isidro Josefina



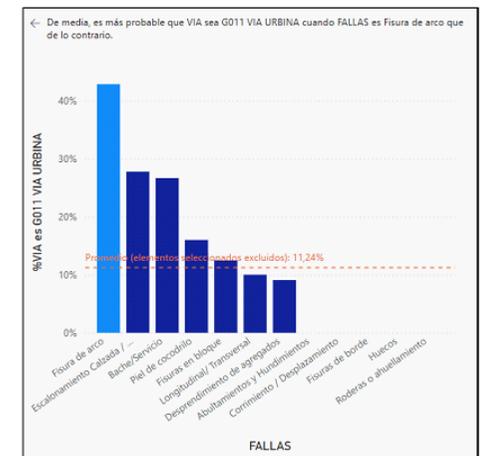
6 b. Talaguag



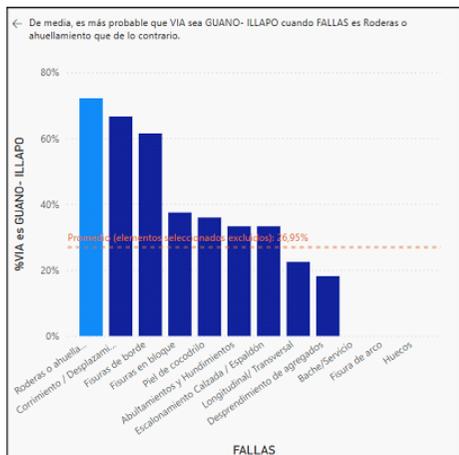
6 c. San Pablo Talaguag



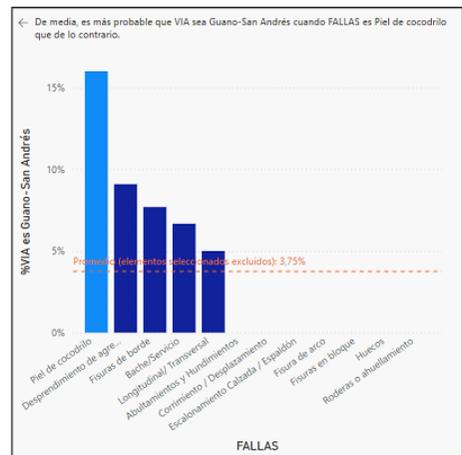
6 d. Vía Urbina



6 e. Guano Ilapo



6 f. Guano San Andrés



6 g. Valparaíso

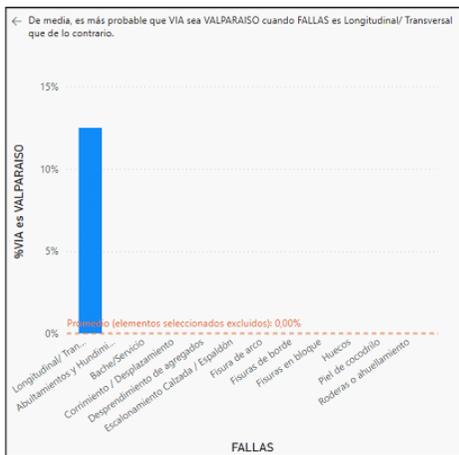


Figura 6. Análisis de Fallas en Pavimentos Flexibles de las vías Secundarias del Cantón Guano.

En la Figura 6a, correspondiente a la vía San Isidro Josefina, se evidencia una clara superioridad de la falla del tipo Bache - Servicio, con una probabilidad del 26.67%. Según MOPC (2016). Un bache es la descomposición total de la superficie del pavimento y su separación en una innegable dilatación, comúnmente menor de 0.9 m de diámetro, creando un hoyo, de bordes claros y lados verticales en su parte superior. Lo cual forma daños estructurales que impiden la prolongación del pavimento; su presencia es indicativa de un mantenimiento insuficiente. Además, se observan otras fallas importantes como longitudinal - Transversal (10%), desprendimiento de agregados (9.09%), indicando posibles problemas relacionados con un drenaje deficiente, mala calidad de materiales y envejecimiento prematuro.

La Figura 6b, correspondiente a la vía Talaguag, presenta la falla Bache - Servicio como la falla dominante (26.67%). Sin embargo, a diferencia del tramo anterior, existe una mayor diversidad de deterioros secundarios, como fisuras en bloque (25%) y fisura longitudinal/transversal (15%). Según (Garber, 2014) dice que esta variedad de patologías atribuye a procesos de fatiga progresiva del pavimento, agravados por cargas cíclicas y presencia de agua en las capas inferiores.

En la Figura 6c, que se visualiza en análisis de la vía San Pablo Talaguag, nos presenta como la vía más desgastada del estudio, con una probabilidad del 11.56%, en el análisis la falla con mayor porcentaje es huecos con el 100%, seguida de abultamientos y hundimientos con el (33.33%), desprendimientos de agregados (27.27%), fisuras en bloque (25%), piel de cocodrilo (24%) y fisuras longitudinales/transversales (5%).

Estas fallas, según (Corros et al. 2009), son típicas de suelos expansivos o de una compactación deficiente en las capas granulares, reflejando serios problemas constructivos y de diseño geotécnico.

En el caso de la Figura 6d, que analiza la vía Urbina, se destaca una probabilidad del (42.86%) de aparición de fisuras de arco, asociadas por Montejo (2006) a esfuerzos de tracción térmica en la fibra inferior de la capa asfáltica. También se presentan otras fallas como escalonamiento de calzada (27.78%), baches/servicio (26.67%), piel de cocodrilo (16%), fisuras en bloque (12.5%), fisuras longitudinales/transversales (10%) y desprendimiento de agregados (9.09%). Esta diversidad sugiere una combinación de problemas estructurales, térmicos y de fatiga.

La Figura 6e, correspondiente a la vía Guano Ilapo, evidencia una alta probabilidad de desarrollo de roderas o ahuellamientos (72.22%), lo que, según Reyes Lizcano (2003), indica deformaciones plásticas acumuladas por efecto de cargas pesadas y temperaturas elevadas. También se observan otras patologías relevantes como corrimiento/desplazamiento (66.67%), fisuras de borde (61.54%), fisuras en bloque (37,50%), piel de cocodrilo (36%), abultamientos y escalonamientos de calzada (33.33%), fisuras longitudinales/transversales (22.50%) y desprendimiento de agregados (18.18%).

Estos porcentajes nos da a entender que existe una deficiencia en el diseño estructural del pavimento flexible y un alto nivel de tráfico vehicular.

En la Figura 6f, vía Guano–San Andrés, se registra el tramo menos crítico del estudio, con un suceso del 16% de piel de cocodrilo, desprendimiento de agregados (9.09%), fisuras de borde (7.69%), baches/servicio (6.67%) y fisuras longitudinales/transversales (5%). Estos valores relativamente bajos indican una condición estructural aún aceptable, aunque no expuesta a riesgos si no se realiza un mantenimiento oportuno.

Finalmente, la Figura 6g, correspondiente a la vía Valparaíso, muestra un 12.50% de probabilidad de fisuras longitudinales/transversales, lo que indica una presencia significativa de este tipo de daño en el tramo analizado. El comportamiento sugiere que estas fisuras no se concentran en un solo punto del pavimento, sino que aparecen en distintos sectores, lo cual muestra la influencia de múltiples factores de deterioro. Según Medina y De la Cruz (2015), este tipo de fisuración puede deberse a "gradientes térmicos, cargas vehiculares excesivas y movimientos diferenciales en capas inferiores", lo que resalta la necesidad de un enfoque exhaustivo para su diagnóstico y tratamiento.

En resumen, los resultados reflejan cómo distintos tramos presentan patrones únicos de deterioro influenciados por variables estructurales, geotécnicas, climáticas y de tráfico.

Este análisis nos permite identificar las intervenciones necesarias de acuerdo al porcentaje de falla de cada una de las vías que es clave para su mantenimiento vial y posterior rehabilitación.

Resultados del Análisis de Falla General en Pavimentos Flexibles en las Vías del Cantón Guano.

Se han elaborado figuras que muestran la distribución porcentual de los tipos de fallas identificadas en cada tramo, a través de levantamiento de información en campo y se clasificaron y procesaron los datos. Dichos datos nos permiten identificar los patrones de deterioro para conocer el estado actual del pavimento flexible y proponer soluciones factibles.

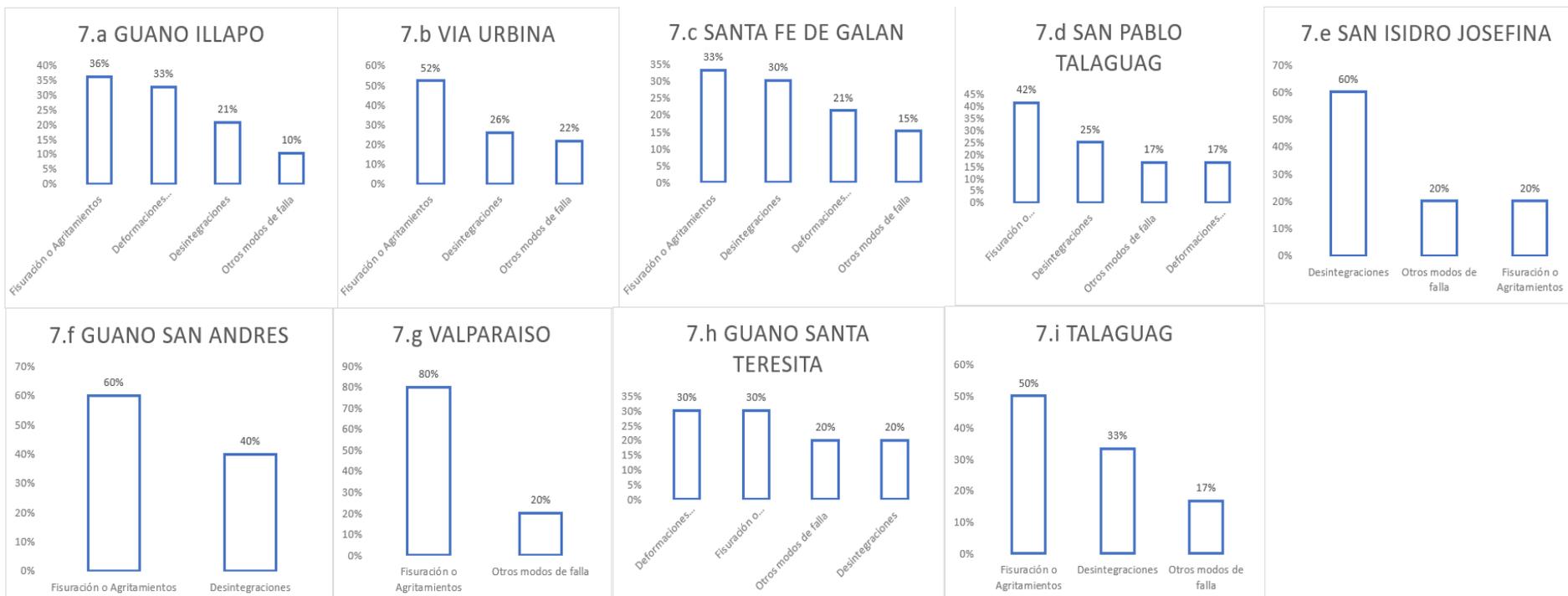


Figura 7. Distribución porcentual de los tipos de fallas en la vía Guano – Illapo.

En la figura 7.a correspondiente a la vía Guano Ilapo, se observa que las fallas predominantes en el pavimento flexible es la fisuración o agrietamientos con un 36%, seguida de deformaciones permanentes con un 33%, desintegraciones con un 21% y otros modos de falla con un 10%, lo que indica un daño significativo tanto superficial como estructural. Los agrietamientos se asocian a esfuerzos de fatiga, contracciones térmicas o defectos en el diseño estructural del pavimento (Mamlouk & Zaniewski, 2011), aclaran que las deformaciones permanentes son el resultado de cargas vehiculares intensas y el mal diseño del pavimento flexible, reflejando una capacidad portante insuficiente.

Las desintegraciones, por su parte, evidencian envejecimiento del material asfáltico y posibles fallos en la compactación (Ragnoli, 2018), y los otros modos de fallas, aunque menos frecuentes, revelan problemas más severos relacionados con asentamientos del terreno o drenajes inadecuados (Asphalt Institute, 2007) .

En la figura 7b, la vía Urbina representa el 52% de fallas de tipo agrietamiento o fisuración siendo esta la que se produce con mayor frecuencia al desgaste del pavimento flexible. Es te tipo de falla puede relacionarse con la fatiga del material asfáltico debido a cargas repetitivas y una deficiencia al momento de su construcción como por ejemplo tenemos la mala compactación y el uso de materiales inadecuados.

La desintegración con un 26% nos indica que en la capa de rodadura se da un deterioro de la superficie por una falta de mantenimiento y control, esto provoca que este expuesto a ambientes climáticos como lluvias y cambios térmicos

Por otra parte, con el 22% restante nos indica que hay daños que podrían comprometer la base y subbase del pavimento flexible.

En el estudio reflejan una correlación entre las fallas registradas y factores externos como:

Condiciones climáticas, diseño estructural deficiente, uso de materiales inadecuados y tránsito vehicular pesado, los cuales han sido identificados como causas determinantes del deterioro en pavimentos flexibles. Esta tendencia es consistente con estudios de Delgadillo et al. (2016), que señala que la combinación de cargas cíclicas del tráfico, materiales de baja calidad, y falta de mantenimiento periódico, son los principales factores que aceleran la aparición de agrietamientos, desintegración y daños estructurales en las vías asfaltadas.

En la figura 7.c, la vía Santa Fe de Galán, nos muestra la distribución de las fallas que hay en el pavimento flexible siendo la causa principal la fisuración o agrietamiento con un 33% del total de deterioro. Luego con un 33% las desintegraciones, le siguen deformaciones permanentes con un 21% y por último con un 15% otros modos de falla.

Estos porcentajes nos permite identificar que en la vía Santa Fe de Galán presenta una pérdida de resistencia del pavimento. Según Montejo (2002), "las fisuras son indicadores

de la fatiga de la estructura del pavimento y suelen ser precursoras de deterioros más severos si no se intervienen oportunamente" (p.128).

El elevado porcentaje de desintegraciones (30%) refleja problemas de durabilidad de los materiales utilizados en la construcción del pavimento. De acuerdo con Rondón y Reyes (2015), "las desintegraciones están frecuentemente asociadas a deficiencias en la calidad de los materiales o procesos constructivos inadecuados, manifestándose como desprendimientos de agregados o pérdida de la matriz asfáltica" (p.215).

Las deformaciones permanentes (21%) y los otros modos de falla (15%), aunque presentes en menor proporción, son indicativos de problemas más profundos en la estructura del pavimento flexible. Huang (2004) señala que "las deformaciones permanentes son resultado de la acumulación de pequeñas deformaciones plásticas que ocurren cada vez que se aplica una carga al pavimento flexible, y pueden estar asociadas a debilidades en la subrasante, base o capa asfáltica" (p.342).

La figura 7d, la vía San Pablo Talaguag, se puede apreciar que la falla principal son las fisuras o agrietamientos con un 42% debido a una pérdida continua del pavimento flexible, la cual está relacionada a procesos de fatiga del material, debido a el flujo del tránsito y fallas en su construcción. Estas fallas representan casi el 50% de los deterioros observados, lo que nos indica una alerta para que provoque el deterioro estructural si no se aplica un mantenimiento oportuno.

La desintegración muestra un 25% del total, lo que nos indica un desgaste superficial por envejecimiento de la mezcla asfáltica, exposición a cambio climáticos, y la acción erosiva del suelo. El 17% de los casos son por defectos permanentes y otros modos de falla que indican que existen problemas en las capas inferiores del pavimento. Para que se dé una capacidad portante insuficiente se debe producir el fenómeno denominado deformaciones permanentes que sugieren un deterioro grave que necesita acciones correctivas.

Este comportamiento general coincide con hallazgos previos en estudios especializados, como el de Delgadillo et al. (2016), quienes afirman que "las fisuras, desintegraciones y deformaciones son el resultado acumulativo de múltiples factores como sobrecarga vehicular, deficiente diseño estructural, materiales de baja calidad y ausencia de un programa regular de mantenimiento".

En la figura 7.e, de la vía San Isidro Josefina, las desintegraciones representan el 60% de los daños identificados, seguidas por otros modos de falla y agrietamientos con un 20% cada uno. La alta incidencia de desintegraciones sugiere una significativa degradación superficial del pavimento flexible, habitualmente relacionada con la acción del tráfico, la exposición a condiciones climáticas adversas y la utilización de materiales de baja calidad en la capa de rodadura. Estos daños pueden acelerarse por la falta de mantenimiento preventivo y por la fatiga de los materiales, lo que coincide con lo señalado por Mamlouk y Zaniewski (2017), quienes destacan que las desintegraciones es una de las principales causas

de deterioro en pavimentos flexibles cuando existen deficiencias constructivas y ambientales.

En la figura 7.f, en la vía Guano San Andrés, la fisuración o agrietamiento constituye el 60% de las fallas, mientras que las desintegraciones alcanzan el 40%. La falla predominante denominada agrietamientos indica que el pavimento está siendo afectado principalmente por esfuerzos repetitivos de carga, movimientos del subsuelo y variaciones térmicas, lo que genera fisuración y pérdida de cohesión en la mezcla asfáltica. Según Huang (2004), los agrietamientos en pavimentos flexibles suelen asociarse a la fatiga del material y a la acción de factores externos como la humedad y los cambios de temperatura, lo cual reduce considerablemente la vida útil de la vía.

En la figura 7.g, en la vía Valparaíso, los agrietamientos o fisuración representan el 80% de los daños, mientras que otros modos de falla suman el 20%. La alta proporción de agrietamientos evidencia una marcada debilidad en la capacidad del pavimento para resistir los esfuerzos de tracción, probablemente debido a un diseño estructural inadecuado, materiales insuficientemente resistentes o a la antigüedad de la vía. La Federal Highway Administration (FHWA, 2013) indica que la fisuración extensiva es un claro síntoma de fatiga del pavimento y de posibles problemas en la base o subbase, agravados por condiciones climáticas y de tráfico intensas.

En la figura 7.h en la vía Guano Santa Teresita, muestra el porcentaje de las fallas observadas en el pavimento. Los datos revelan que las deformaciones permanentes y la Fisuración o Agrietamiento tiene un mayor porcentaje, cada una con un 30% del total de deterioros, siguiendo a estos otros modos de falla y las desintegraciones, con un 20%.

Esta distribución presenta una problemática demostrativa tanto a rasgos superficiales como estructurales. El alto porcentaje de fisuras y agrietamientos (30%) indica que el pavimento está siendo afectado por fatiga del material debido a la acción repetitiva de cargas vehiculares o a condiciones ambientales adversas. Según Montejo Fonseca (2002), “las fisuras son indicadores de la fatiga de la estructura del pavimento y suelen ser precursoras de deterioros más severos si no se intervienen oportunamente” (p. 128).

Las deformaciones permanentes (30%) reflejan la incapacidad del pavimento para mantener su forma original ante la acción del tránsito pesado o por debilidades en las capas inferiores. Esto puede deberse a una subrasante con baja capacidad de soporte, humedad excesiva o mezcla mal diseñada. Como indica Huang (2004), “las deformaciones permanentes son resultado de la acumulación de imperfecciones dúctiles que suceden cada vez que se emplea una carga al pavimento, y pueden estar asociadas a debilidades en la subrasante, base o capas asfálticas” (p. 342).

En cuanto a las desintegraciones (20%), este tipo de daño representa la pérdida de agregados o desprendimiento de la matriz asfáltica, señal de materiales envejecidos o procesos constructivos inadecuados. De acuerdo con Rondón y Reyes (2015), “las desintegraciones están frecuentemente asociadas a deficiencias en la calidad de los

materiales o procesos constructivos inadecuados, manifestándose como desprendimientos de agregados o pérdida de la matriz asfáltica” (p. 215).

Por último, otros modos de falla (20%), aunque en menor proporción, indican problemas de mayor profundidad que podrían estar afectando la base o subbase del pavimento, reduciendo su capacidad para distribuir las cargas adecuadamente.

En la figura 7.i en la vía Talaguag la distribución porcentual de las principales fallas presentes en el pavimento flexible de una vía de segundo orden del cantón Guano, donde se evidencia que el 50% corresponde a fisuración o agrietamientos, el 33% a desintegraciones y el 17% a otros modos de falla. Esta información permite identificar los factores externos que inciden en el deterioro de la infraestructura vial. Las fisuras reflejan condiciones agrupadas a la debilidad del material por cargas repetitivas, carencias en el diseño estructural o mala calidad de materiales, además de efectos térmicos que provocan contracción y expansión del asfalto (Mamlouk & Zaniewski, 2011). Las desintegraciones, por otro lado, revelan pérdida de cohesión superficial causada por envejecimiento del asfalto, inadecuada compactación o condiciones climáticas adversas que aceleran el deterioro (Pavement Interactive, 2020).

Por último, las fallas estructurales, aunque menos frecuentes, son los más críticos, ya que comprometen la capacidad portante del pavimento y generalmente están relacionados con problemas en la base, asentamientos del suelo y deficiente drenaje (Huang, 2004). Esta información respalda el objetivo del estudio al evidenciar cómo las variables externas como el clima, tráfico, deficiencias constructivas y aspectos geotécnicos afectan directamente la vida útil del pavimento, permitiendo generar estrategias de mantenimiento correctivo y preventivo basadas en la identificación del tipo y origen de las fallas.

Tabla 4. Relación de tramo vial, falla predominante y probabilidad.

Nombre de vía	Falla predominante	Probabilidad
Valparaíso	Fisuración o agrietamiento	80%
Talaguag	Fisuración o agrietamiento	50%
San Pablo Talaguag	Fisuración o agrietamiento	42%
San Isidro Josefina	Desintegraciones	60 %
Guano San Andrés	Fisuración o agrietamiento	60%
Vía Urbina	Fisuración o agrietamiento	52%
Santa Teresita	Deformaciones permanentes y fisuración o agrietamiento	30%

Nombre de vía	Falla predominante	Probabilidad
Guano Ilapo	Fisuración o agrietamiento y deformaciones permanentes	36% y 33%
Santa Fe de Galán	Fisuración y desintegraciones	33% y 30%

Fuente: Elaboración propia (2025)

La tabla 4 presenta un resumen de los resultados obtenidos en el análisis de fallas de pavimentos flexibles en distintos tramos viales del cantón Guano. En ella se muestran las fallas predominantes por tramo y la probabilidad asociada a cada tipo de deterioro. Esta herramienta nos muestra los problemas más recurrentes en cada tramo vial, facilitando así la interpretación de los resultados y apoyando la toma de decisiones orientadas a la rehabilitación y mantenimiento vial.

Análisis del Origen principal y consecuencias del deterioro en el pavimento flexible en el cantón guano.

Para la identificación de las causas de deterioro en las vías del cantón Guano se parte de una clasificación en la cual está relacionada el origen principal con sus respectivas consecuencias lo que nos permite entender las variables que influyen en la durabilidad de la vía.

La Tabla 5 resume la relación entre el origen principal y su consecuencia, sirviendo como base para el análisis cualitativo y cuantitativo que sustenta las recomendaciones técnicas planteadas en esta investigación.

Tabla 5. Clasificación de Origen principal y su consecuencia.

ORIGEN PRINCIPAL	CONSECUENCIA
	Desgaste por envejecimiento de talud:
Clima	Los materiales del pavimento perciben un agotamiento debido a la constante exposición de cargas y factores climáticos lo que produce grietas, pérdida de adherencia que comprometen a la seguridad vial y a la funcionalidad de la vía con el paso del tiempo (Crespo & Tinoco, 2017).
Clima	Reducción de capacidad portante: La acumulación de humedad en el pavimento reduce su capacidad portante, lo que favorece la aparición de fisuras y baches. También sobresalta la cohesión de las partes estructurales, aumentando el riesgo y

	fallas prematuras, principalmente en áreas donde el drenaje es inadecuado. (Gonzales, 2005)
Clima	Deterioro del pavimento: Cuando el agua se infiltra en las capas del pavimento, reduce su resistencia tanto la base como la subrasante, lo que provoca hundimientos, fisuras y una disminución de la capacidad estructural. Este proceso apresura el deterioro del pavimento flexible y, si no se realizan medidas adecuadas de impermeabilización y drenaje, puede resultar en fallos estructurales graves (Gonzales, 2005).
Constructivo	Defecto estructural: Los errores en el diseño, la construcción o el uso de materiales inadecuados pueden causar fallas en la estructura del pavimento, lo que disminuye su capacidad para resistir cargas. Esto puede originar hundimientos, grietas y deformaciones que no solo afectan la seguridad vial, sino que también incrementan los costos de mantenimiento. (Pedemonte & Romina 2019).
Constructivo	Inestabilidad del suelo: La presencia de suelos con baja resistencia a la carga ocasiona asentamientos y fallas en el pavimento. Factores como la humedad, compactación inadecuada y la geotécnica del suelo pueden perjudicar la estabilidad de la vía, lo que se debe tener en cuenta para dar solución a la cimentación y mejoramiento del suelo. (Eduardo Gonzales, 2020)
Edad	Desgaste por envejecimiento de talud: Con el paso del tiempo, los materiales del pavimento perciben un agotamiento ocasionado por la constante exposición a cargas y condiciones climáticas adversas. Este desgaste resulta en grietas, pérdida de adherencia y deformaciones, lo que compromete tanto la seguridad como la funcionalidad de la vía, que conlleva a un desgaste de talud. (Crespo & Tinoco, 2017).
Geotécnicos	Inestabilidad del suelo: La presencia de suelos con baja resistencia a la carga ocasiona asentamientos y fallas en el pavimento. Factores como la humedad, compactación inadecuada y la geotécnica del suelo pueden perjudicar la estabilidad de la vía, lo que se debe tener en cuenta para dar

	solución a la cimentación y mejoramiento del suelo. (Eduardo Gonzales, 2020)
Geotécnicos	Desgaste de Talud: Cuando el talud tiene diseños deficientes al recomendado por la normativa, esta sufre un desgaste rápido. La presión generada por vehículos pesados y el paso constante de automóviles provocan la aparición de grietas, baches y deformaciones, lo que disminuye su resistencia y aumenta la necesidad de reparaciones frecuentes. (Sebastián Ronquillo, 2024)
Humanos	Entornos viales mal diseñados: Los cambios bruscos de velocidad en la carretera generan esfuerzos irregulares sobre el pavimento, lo que incrementa su desgaste en puntos específicos. Esto puede conducir a la aparición de deformaciones y fisuras, además de afectar la fluidez del tráfico y la seguridad vial, especialmente en intersecciones donde se producen frenados frecuentes. (Sebastián Ronquillo, 2024)
Humanos	Reducción de capacidad portante: La acumulación de cargas pesadas en áreas determinadas del pavimento provoca un desgaste acelerado y fallas prematuras. Este fenómeno se hace más evidente en lugares de alta carga estática, como en intersecciones y curvas cerradas, donde la presión concentrada de los vehículos da lugar a fisuras y deformaciones localizadas. (Sebastián Ronquillo, 2024)
Humanos	Deterioro vial del pavimento: El exceso de velocidad, la falta de respeto a la normativa y la sobrecarga de los vehículos dañan el pavimento lo que aumenta la necesidad de mantenimiento y reduce su vida útil. (Asphalt Institute, 2007)
Humanos	Inclinación entre secciones: La rigidez del pavimento está ligado al diseño vial. Sin intervenciones oportunas, el uso continuado causa un desgaste progresivo, afectando su resistencia y funcionalidad. Este deterioro no solo compromete la seguridad vial, sino que también implica inversiones significativas en rehabilitación y reconstrucción. (Sebastián Ronquillo, 2024)

Fuente: Elaboración propia (2025)

La Tabla 5 presenta una clasificación detallada de los principales factores que originan fallas en los pavimentos flexibles, organizándolos según su naturaleza: climática, constructiva, geotécnica, por edad de la vía y de origen humano. Esta sistematización permite una interpretación más clara de cómo cada factor incide directa o indirectamente en el deterioro funcional y estructural de las vías del cantón Guano.

Las causas climáticas tales como infiltración de agua, humedad, erosión lateral y edad del pavimento flexible afectan a la resistencia del pavimento.

Según Jorge Taco (2024), la presencia de humedad en zonas con un drenaje deficiente, acelera la pérdida de cohesión entre capas del pavimento, que ocasionan fallas en el pavimento.

En los factores de origen constructivo resalta el uso de materiales inadecuados, problemas en la compactación y errores de diseño, todo esto causa hundimientos fisuras y asentamientos que afectan la capacidad de soporte del pavimento flexible. El MPCO (2016) nos dice que la utilización de materiales no aptos produce fallas prematuras de las vías lo que nos muestra la necesidad de controles en la etapa de construcción.

En cuanto a las causas geotécnicas, la inestabilidad del suelo aparece como un factor crítico. Terrenos con baja capacidad portante, presencia de agua subterránea o alta plasticidad pueden provocar deformaciones severas y pérdida de nivelación en la superficie de rodadura. Según Jorge Taco (2024), una caracterización inadecuada del suelo y la omisión de soluciones de refuerzo o cimentación durante el diseño estructural incrementan la probabilidad de fallas relacionadas con el asentamiento diferencial. Este tipo de fallas se manifiesta principalmente en zonas donde no se realizó un estudio geotécnico exhaustivo.

Por otra parte, los factores humanos resultan ser altamente incidentes y, a su vez, controlables. El exceso de carga vehicular, la falta de mantenimiento periódico, el uso prolongado de la vía sin intervenciones correctivas y el incumplimiento de las normas de tránsito provocan esfuerzos concentrados en puntos específicos del pavimento. Esto acelera su desgaste, generando grietas, deformaciones y baches, especialmente en zonas de alta interacción vehicular. De acuerdo con PIARC (2020), el tránsito de vehículos sobrecargados disminuye la vida útil del pavimento de forma exponencial, generando un aumento significativo en los costos de mantenimiento y rehabilitación. Además, Montejo (2018) resalta que el comportamiento vial inadecuado por parte de los usuarios también influye negativamente en la durabilidad de las infraestructuras viales.

Por último, el factor edad del pavimento también se evidencia como una causa directa del deterioro. Con el tiempo, la exposición continua a cargas dinámicas y factores ambientales reduce las propiedades físico-mecánicas de los materiales, originando fatiga estructural.

Montejo (2018), indica que los materiales del pavimento flexible muestran una pérdida de resistencia debido al envejecimiento natural, lo que compromete su desempeño.

La clasificación presentada también nos permite identificar patrones que explican las fallas observadas en el pavimento flexible del cantón Guano, y subraya la urgencia de aplicar una planificación integral de mantenimiento que considere tanto las condiciones técnicas del entorno como el comportamiento humano. La implementación de soluciones preventivas y el uso de herramientas de análisis como Power BI y Excel, contribuirán a una gestión más eficiente de procesamiento de datos y posterior a ello un análisis de la infraestructura vial y a la extensión de su vida útil.

Análisis del origen y de las fallas principales en el cantón guano.

Este apartado indica el análisis de las principales fallas que afectan al pavimento flexible, clasificándolo por su origen principal. Con el uso de la figura 8 y la tabla 6 se puede identificar la probabilidad de cada tipo de falla acorde a las 5 categorías de origen como son geotécnico, constructivo, climático, edad del pavimento y humano. El análisis se lleva a cabo para identificar los factores que interviene de manera repetitiva en el desgaste del pavimento flexible.

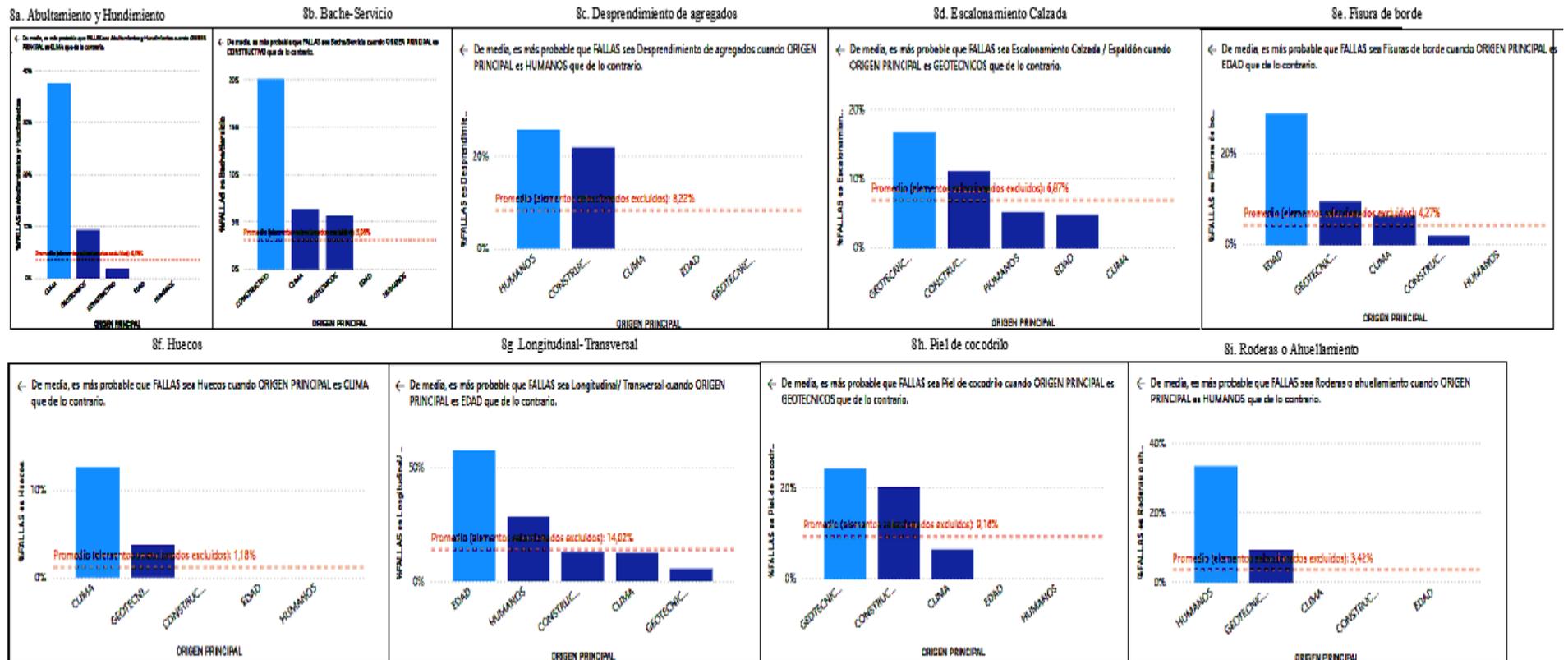


Figura 8. Análisis de las fallas más comunes en pavimentos flexibles en base a su origen principal

Tabla 6. Análisis de fallas en pavimentos flexibles según su origen principal.

Falla principal	Origen	Descripción
Abultamiento y Hundimiento	Geotecnia	Se presenta cuando el pavimento experimenta deformaciones verticales debido a problemas en la base o subrasante, generalmente asociados a la expansión de arcillas, humedad excesiva o compactación deficiente. (Delgado & Pérez, 2015)
Falla principal	Origen	Descripción
Bache – Servicio	Construcción	Los baches aparecen debido a defectos en la mezcla asfáltica, mala compactación o falta de adherencia entre capas. Se agravan con el tránsito vehicular excesivo y la filtración de agua. (Hernández & Romero, 2017)
Falla principal	Origen	Descripción
Desprendimiento de agregados	Humanos	Se refiere a la pérdida de partículas de la superficie del pavimento, lo que disminuye la adherencia y aumenta el riesgo de deslizamiento. Puede deberse a un mal mantenimiento o al uso inadecuado de la vía. (Asociación Mundial de la Carretera, 2019).
Falla principal	Origen	Descripción
Escalonamiento de Calzada	Geotecnia	Se manifiesta cuando una parte del pavimento se hunde o se levanta con respecto a la otra, generando un desnivel que afecta la seguridad vial. Está relacionado con asentamientos diferenciales o fallas en la subrasante. (Hernández & Romero, 2017)
Falla principal	Origen	Descripción
Fisuras de borde	Edad del pavimento	Grietas que se forman en los bordes del pavimento debido al envejecimiento del material, la falta de confinamiento lateral o la erosión de los márgenes de la vía. (Sánchez & Ramírez, 2014).

Falla principal	Origen	Descripción
Huecos	Clima	Se forman cuando el pavimento pierde su integridad estructural debido a la acción del agua y los cambios de temperatura, lo que debilita las capas inferiores y provoca hundimientos. (Delgado & Pérez, 2015)
Falla principal	Origen	Descripción
Longitudinal Transversal	– Edad pavimento del	Se trata de grietas que pueden aparecer a lo largo (longitudinales) o a lo ancho (transversales) del pavimento debido al envejecimiento del material, fatiga estructural o retracción térmica. (Ministerio de Transporte de Colombia, 2020).
Falla principal	Origen	Descripción
Piel de Cocodrilo	Geotecnia	Se caracteriza por una red de grietas interconectadas en la superficie del pavimento, generalmente debido a una subrasante inestable, problemas de drenaje o fatiga por carga repetida. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, 2006).
Falla principal	Origen	Descripción
Rodaduras ahuellamiento	o Humanos	Se presentan surcos en la superficie del pavimento debido al tráfico constante de vehículos pesados y a una mala compactación de la mezcla asfáltica. (Sánchez & Ramírez, 2014).

Fuente: Elaboración propia (2025)

La Tabla 6 nos indica que la geotecnia es la falla más recurrente como origen principal. Lo cual revela la importancia de un buen estudio de suelos de la vía. Una base débil o mal tratada puede originar daños a lo largo de su vida útil siendo los más recurrentes el clima en la falla de abultamientos y hundimientos (figura 8a), la geotécnica en la falla de escalonamiento de calzada (figura 8d), geotecnia en la falla piel de cocodrilo (figura 8h).

Las fisuras de borde (Figura 8e), indica el envejecimiento natural de los materiales debido a la edad del pavimento y el clima que inciden en el mismo.

Por último, tenemos que los errores constructivos ayudan a la aparición de fallas prematuras en pavimentos. (Sánchez & Ramírez, 2014) sostienen que “Estas fallas se manifiestan cuando durante la ejecución de la vía en donde se presentan deficiencias en la compactación de capas, uso de mezclas asfálticas mal proporcionadas, o cuando no se asegura una adecuada adherencia entre capas de rodadura y base, a esto se suma la falta de mantenimiento periódico, una acción humana indirecta que agrava progresivamente el deterioro de la infraestructura”. Estas condiciones no solo afectan la calidad funcional de la vía desde sus primeras etapas, sino que también reducen de manera significativa su vida útil, incrementando la frecuencia de intervenciones y el costo de rehabilitación. Los errores durante la fase constructiva suelen generar fallas como baches, ahuellamientos, huecos, piel de cocodrilo, fisuraciones, entre otras, que comprometen la seguridad vial y el confort de los usuarios. Además, el uso inadecuado de maquinaria, la falta de supervisión técnica o el descuido de controles de calidad durante la colocación del material pueden agravar la situación, dejando a la vía vulnerable a daños incluso con bajos niveles de tráfico. Por estas razones, el control durante la construcción debe tener una adecuada capacitación del personal y seguimiento técnico, para prevenir errores humanos agraven a corto y mediano plazo.

La tabla evidencia que para mitigar el deterioro del pavimento se debe comprender no solo el tipo de falla, sino su origen, ya que cada categoría (geotecnia, clima, edad, construcción y factores humanos) implica estrategias de intervención distintas. La geotecnia, por ser el origen más frecuente, requiere evaluaciones antes de la etapa de construcción. Se hace evidente que el mantenimiento preventivo debe enfocarse en los efectos del clima y el envejecimiento, mientras que una adecuada supervisión constructiva y el impulso de la conciencia vial pueden reducir las fallas que se atribuyen al factor humano.

Análisis del factor secundario y consecuencias de las fallas generales del pavimento flexible en el cantón guano.

En el siguiente apartado para poder comprender de mejor manera las fallas detectadas en el pavimento flexible del cantón guano, se realizó un análisis de los factores secundarios que contribuyen al deterioro de la estructura vial, así como de las consecuencias derivadas de dichas fallas. En las siguientes figuras se identificarán las conexiones claras entre factores como el movimiento de suelo, sobrecarga vial, la humedad, el diseño deficiente y la fatiga de material, con consecuencias críticas como inestabilidad del suelo, desgaste por envejecimiento, defectos estructurales y el impacto climático en la infraestructura vial.

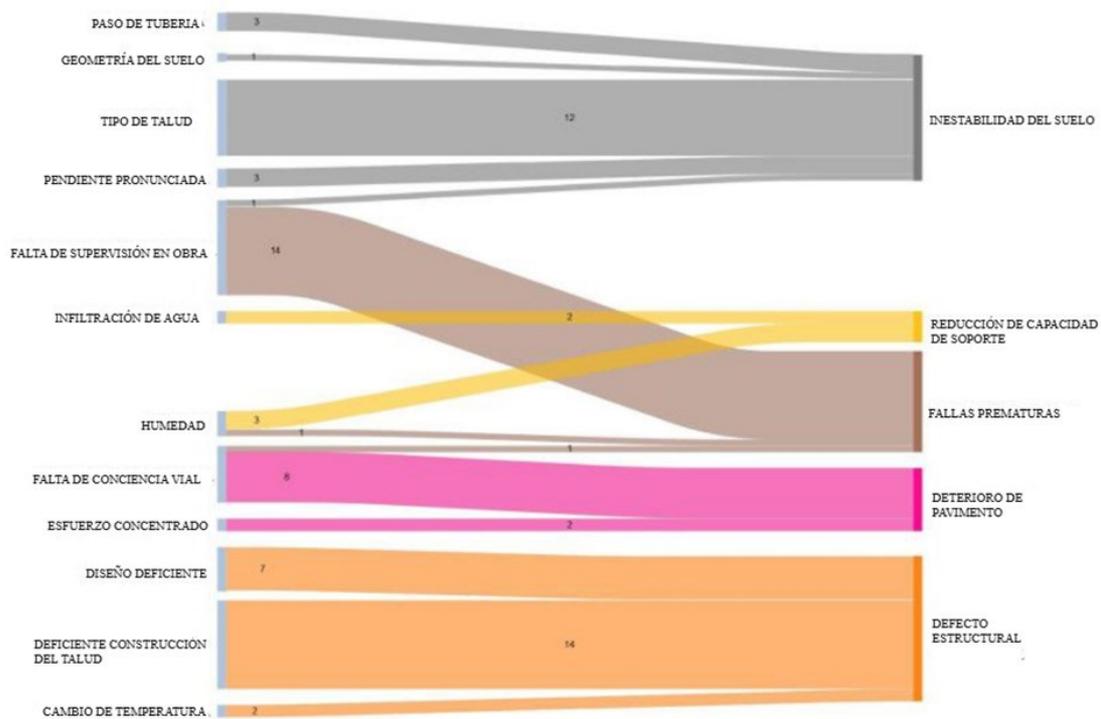


Figura 9. Diagrama Sankey entre factor secundario y consecuencia de la falla general denominada fisuración o agrietamiento.

La figura 8 nos representa fallas del tipo Fisuración o agrietamiento (74 casos) la cual es una falla que se presenta con mayor frecuencia en los pavimentos flexibles, y su aparición se relaciona con condiciones de paso de tubería (3 casos), geometría del suelo (1 casos) pendiente pronunciada (3 casos), falta de supervisión de obra (14 casos), humedad 3(casos), falta de conciencia vial (8 casos), diseño deficiente 7(casos), cambios de temperatura (2casos).

“Se caracteriza por la presencia de grietas longitudinales, transversales o en forma de red tipo piel de cocodrilo, que debilitan la superficie del pavimento y permiten la entrada de humedad a las capas inferiores, acelerando su deterioro” (Delgado & Pérez, 2015).

La fisuración representa un riesgo importante para la durabilidad de las vías, ya que su avance puede derivar en desprendimientos de agregado, baches, deformaciones más severas y desintegraciones que también es una de las principales fallas en los pavimentos flexibles, que terminan fragmentando la superficie. Cuando a esto se suma el uso prolongado y la falta de supervisión de obra (14 casos), el daño se acelera considerablemente, puesto que no existe un control en la obra sobre la construcción realizada para las vías y por ende los obreros pueden realizar la construcción de una manera que no es adecuada. La infiltración de agua a través de fisuras también promueve el debilitamiento de las capas inferiores, mientras que el esfuerzo concentrado (2 casos) es una amenaza en zonas sin cunetas o drenajes inadecuados como es el caso de la vía Talaguag que no cuenta con dicha infraestructura.

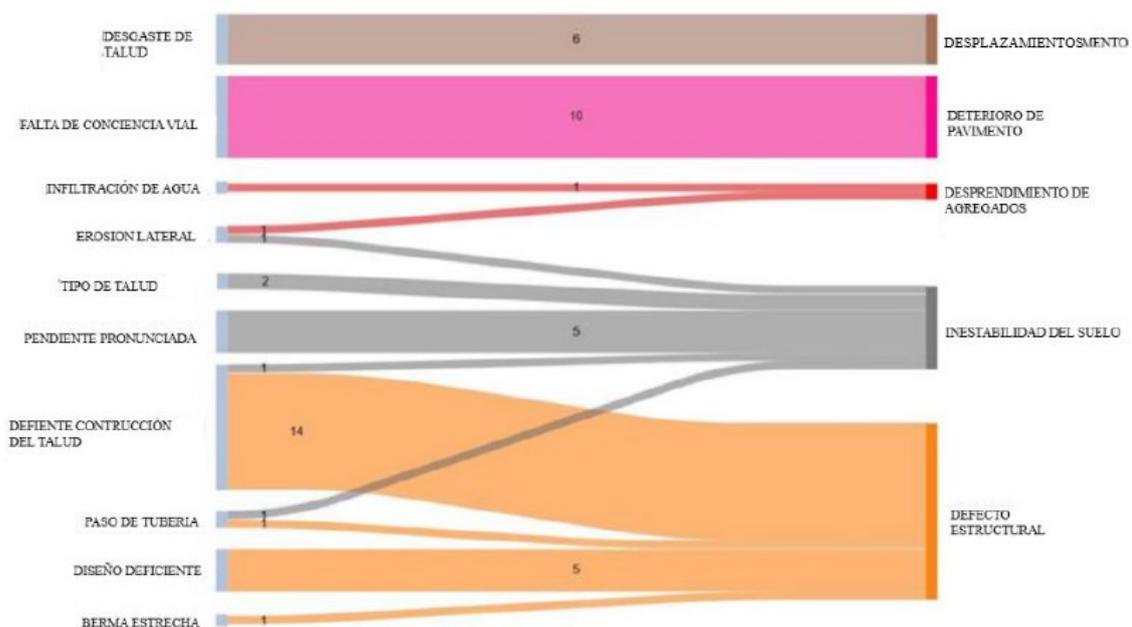


Figura 10. Diagrama Sankey entre factor secundario-consecuencia de la falla general denominada desintegraciones.

La figura 9 nos muestra la falla designada como desintegraciones (49 casos). Las desintegraciones son fallas que implican la pérdida de material del pavimento, generalmente asociadas al envejecimiento de la mezcla asfáltica, baja cohesión entre los agregados o deficiente adherencia con el ligante asfáltico (INVIAS, 2013).

Una de las principales causas es la deficiencia constructiva del talud (14 casos), que evidencian una deficiencia crítica en la calidad de los materiales utilizados en la construcción del talud. Esta causa se ve agravada por factores como paso de tubería, diseño deficiente y berma estrecha al tratarse de vías rurales. Le sigue la falta de conciencia vial (10 casos) y el desgaste de talud (6 casos) que identifica la importancia de las condiciones geotécnicas del terreno, tipo de talud, y su efecto en la durabilidad de las vías, como se ha visto a lo largo de este trabajo, existen vías que tienen mucha pendiente como la vía San Andrés y Santa Fe de Galán que incurren un mayor desgaste por ser vías que conectan sectores de bastante flujo comercial como es San Andrés y Penipe respectivamente. Por último, tenemos pendiente pronunciada (5 casos), diseño deficiente (5 casos) tipo de talud (2 casos). Esta relación sugiere que el comportamiento de los usuarios en la vía tiene un peso significativo en la generación de cargas excesivas, que a su vez contribuyen directamente al deterioro prematuro del pavimento con efectos divididos entre infiltración del agua por mal diseño vial y erosión lateral. Esto pone en evidencia que los factores ambientales, aunque menos frecuentes, tienen consecuencias específicas que comprometen la estructura y estabilidad del pavimento.

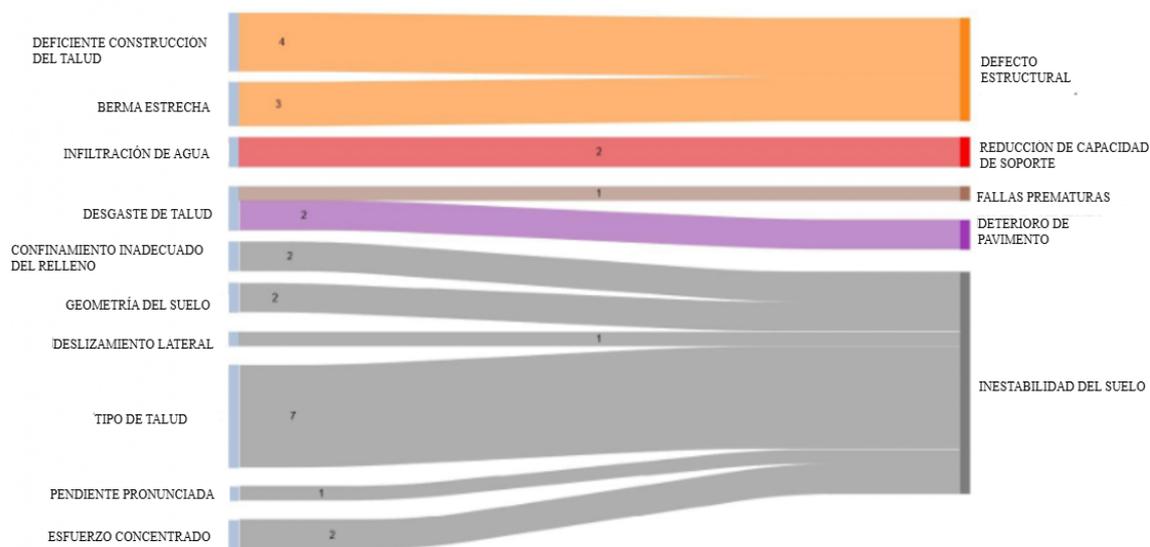


Figura 11. Diagrama Sankey entre factor secundario y consecuencia de la falla general denominada otros modos de falla.

La figura 10 nos representa otros modos de falla (27 casos), como lo describe (Sánchez & Ramírez, 2014) son aquellos que afectan principalmente a pavimentos que presentan pérdida de capacidad de carga, además de reducir su resistencia con el tiempo, permitiendo la filtración de agua y contaminantes hacia las capas internas del pavimento, lo que disminuye su resistencia estructural y genera asentamientos diferenciales.

Entre las causas más frecuentes de esta falla se encuentran el tipo de talud (7 casos), deficiente construcción de talud (4 casos), berma estrecha (3 casos), desgaste del talud (2 casos), confinamiento inadecuado del relleno (2 casos), geometría del suelo (2 casos), esfuerzo concentrado (2 casos) y pendiente pronunciada (1 caso). Para ejemplo tomaremos la vía Valparaíso en la cual se pudo observar la filtración de agua y contaminantes hacia las capas internas del pavimento debido a una mala gestión de residuos ya que al ser una comunidad rural y al encontrarse en una zona con pendientes muy pronunciadas, muchos de los residuos que se generan y que se desplazan por medio de la lluvia, al no contar con un buen sistema de drenaje van a terminar en uniones mal selladas del pavimento, lo que disminuye su resistencia y genera pérdida de soporte. Este tipo de falla requiere atención inmediata, ya que compromete la durabilidad del pavimento y puede derivar en accidentes o en intervenciones costosas.



Figura 12. Diagrama Sankey entre factor secundario y consecuencia de la falla general denominada deformaciones permanentes.

La figura 11 nos indica el análisis de la falla denominada deformaciones permanentes que son una de las principales fallas en los pavimentos y se manifiestan como hundimientos o surcos en la superficie de la vía, producto de cargas vehiculares repetidas o mal distribuidas, especialmente en zonas de alta circulación de transporte pesado. Esta falla suele estar asociada a causas como falta de conciencia vial (8 casos), entornos viales mal diseñados (7 casos), confinamiento inadecuado (6 casos), humedad (6 casos), pendiente pronunciada (6 casos) y confinamiento inadecuado del relleno (5 casos).

Como lo describe (Hernández & Romero, 2017). “Estas afectan profundamente la capacidad estructural y la comodidad del usuario ya que se deben mayoritariamente a la falta de conciencia vial (8 casos), es decir, al paso constante de vehículos con pesos superiores a los previstos en el diseño”, lo cual produce una fatiga acelerada del pavimento como se puede apreciar en muchas vías de este estudio, de la cual resaltaremos la vía Guano Ilapo con 32 fallas totales, que para su diseño se tomó en cuenta un tránsito liviano al ser una zona rural con poca afluencia de vehículos, pero que al implementarse una zona de peaje en la vía Panamericana que es aledaña, muchos vehículos pesados optan por desviarse por esta vía. La falta de conciencia vial aparece como una de las principales causas de este tipo de falla, ya que el desconocimiento o la desobediencia de las normativas por parte de los usuarios intensifican los daños, sobre todo cuando se utilizan vías sin considerar sus límites de carga o sin el mantenimiento necesario. La falta de conciencia vial y errores de diseño estructural también inciden significativamente, ya que reducen la capacidad de resistencia del pavimento frente a esfuerzos prolongados.

El análisis de las gráficas permite establecer que las variables externas que más inciden en las fallas en el pavimento flexible de las vías secundarias del cantón Guano están

relacionadas tanto con factores humanos (como la falta de consciencia vial y entornos viales mal diseñados), como con causas técnicas y naturales (confinamiento inadecuado del relleno, humedad y pendiente pronunciada). La identificación de estas relaciones es esencial para priorizar intervenciones correctivas y preventivas, así como para diseñar políticas que mejoren la durabilidad y seguridad de la infraestructura vial del cantón.

Análisis del Origen principal y la Frecuencia de Fallas en Pavimentos Flexibles del Cantón Guano.

Para este apartado se identificó la frecuencia de fallas existentes en cada vía y se evalúa las principales causas de las fallas en pavimentos flexibles, también se describen como se distribuyen los deterioros de la vía y cuáles son los factores que influyen en su aparición.

La información obtenida es clave para el mejoramiento de planificación, diseño vial, y mantenimiento vial que ayudara a la comodidad de los usuarios.

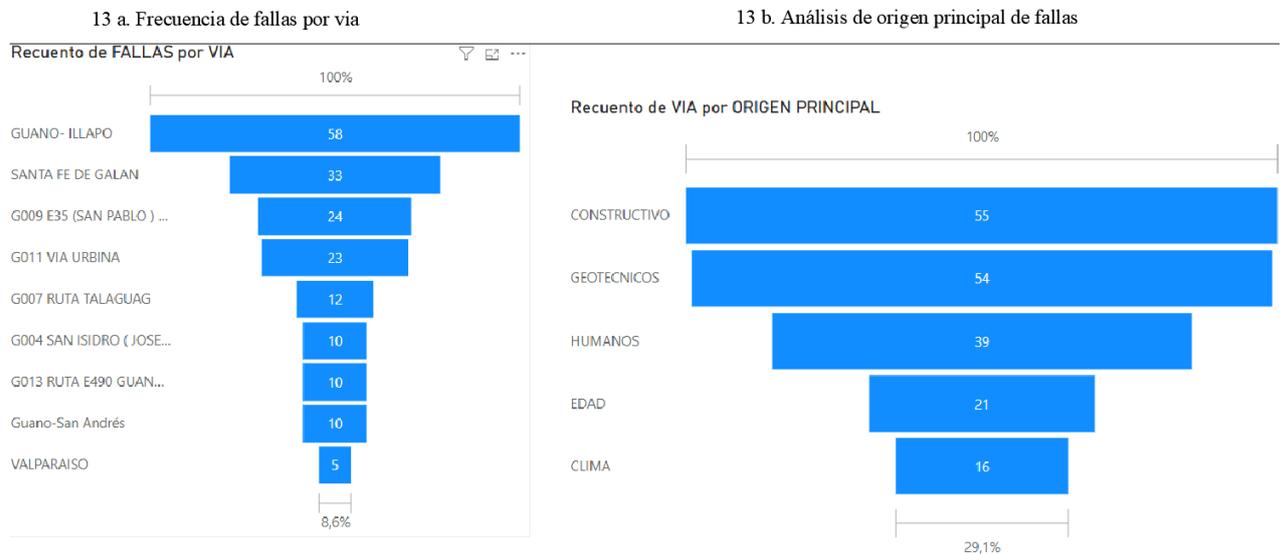


Figura 13. Análisis de origen principal al deterioro de vías secundarias del cantón Guano.

La Figura 13 presenta dos gráficos que permiten visualizar de manera clara la distribución de las fallas registradas por tramo vial y su origen principal. En la figura 13a, se observa que la vía Guano Ilapo concentra el mayor número de fallas con un total de 58%, seguida de Santa Fe de Galán con total 33 % y San Pablo Talaguag con 24%. Estos valores evidencian que estos tramos presentan un mayor grado de deterioro en el pavimento flexible, lo que sugiere la necesidad prioritaria de intervención y estudio detallado en estas vías.

La figura 13b. indica el porcentaje de fallas de las causas principales que son: constructivo con un 55%, geotécnico con el 54%, humano con el 39%, edad con el 21% y clima con el 16%. Esto nos permite saber que el factor constructivo y geotécnico representan un porcentaje mayor en afectación al pavimento flexible. Los factores geotécnicos que incluyen la inestabilidad del suelo, presencia de agua y falta de compactación influye al

desgaste del pavimento flexible. Estas causas nos indica que el deterioro de pavimento es el resultado de varias causas como las condiciones del terreno y la calidad constructiva. De acuerdo a Romina (2019) quien señala que errores em el diseño y construcción genera fallas prematuras. Ante este problema se recomienda una solución práctica para minimizar la aparición de fallas tempranas, maximizar recursos y garantizar una infraestructura vial optima, segura y duradera.

Se recomienda una solución práctica para abordar el problema de la durabilidad y la funcionalidad de las carreteras. Este tipo de solución debe ser dado desde la etapa del diseño hasta la construcción y mantenimiento priorizando lo siguiente:

Estudios geotécnicos: Los estudios geotécnicos se realizarán adecuadamente para conocer las propiedades del suelo y adaptarlas el diseño del pavimento a las condiciones locales como el clima del área, topografía, tráfico esperado y disponibilidad y calidad de materiales de construcción.

El Control de calidad en materiales y en ejecución de obra debe ser un factor primordial para tomar en cuenta puesto que en este apartado se minimizarán los errores estructurales que compromete a la vida útil del pavimento flexible.

Programas de mantenimiento preventivo que se realizaran con inspecciones periódicas en las condiciones geotécnicas como en la estructura del pavimento, lo cual permitirá detectar fallas prematuras y ante ello medidas correctivas oportunas.

El uso de estas estrategias nos ayudara a optimizar recursos y garantizar una infraestructura vial adecuada para los usuarios.

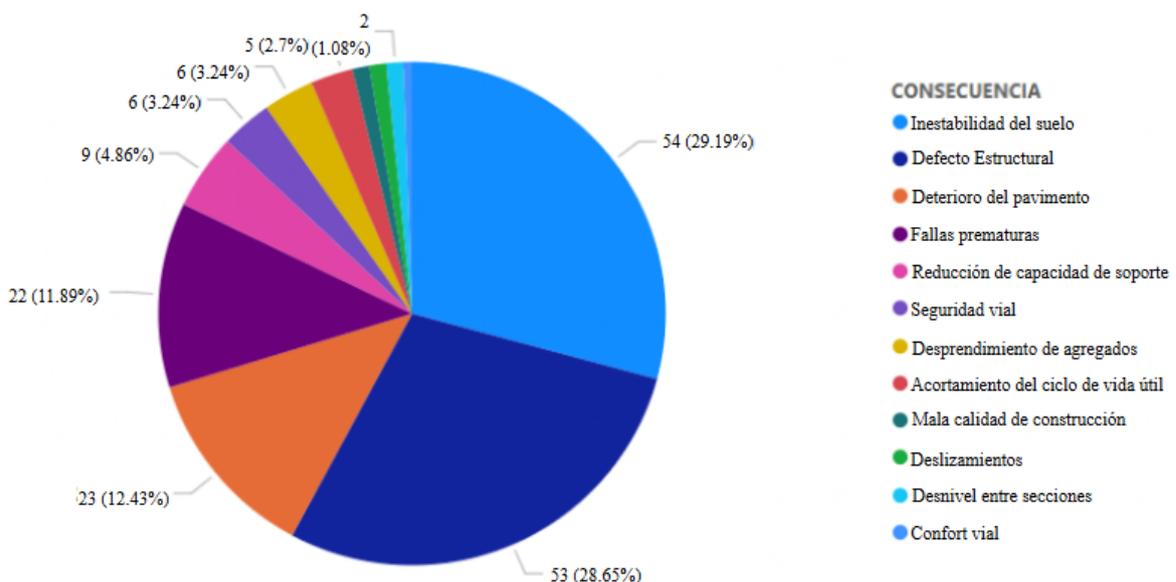


Figura 14. Distribución porcentual de las consecuencias de las fallas en pavimentos flexibles en vías secundarias del cantón Guano.

La Figura 14 presenta el análisis detallado de las consecuencias registradas en los tramos de carretera secundaria del cantón Guano. De este análisis se concluye que un 57,84% de los deterioros identificados tienen como origen principal una combinación entre la inestabilidad del suelo y deficiencias estructurales. Esta asociación representa un riesgo para la seguridad vial, al favorecer la aparición de hundimientos, deslizamientos y otras formas de deterioro que afectan directamente la funcionalidad de la vía.

La inestabilidad del suelo y defectos estructurales debe ser prioritaria puesto que supera el impacto de cualquier otra consecuencia. El uso de materiales de baja calidad, deficiencia en la supervisión y control de obra producen fallas estructurales. Factores tales como la compactación inadecuada del suelo, la erosión lateral, la ausencia de estudio geotécnico son claves en la inestabilidad del suelo.

Además, se observa que la falta de conciencia vial representa un 12,43% de las causas reportadas. Este tipo de consecuencia, principalmente se encuentra en vías que no fueron diseñadas para soportar altos volúmenes de tránsito, esto acelera el proceso de deterioro del pavimento y a ello se suma el desgaste de talud, que con un 11,89% refleja la falta de intervenciones oportunas de mantenimiento.

Las causas menos relevantes incluyen presencia de acortamiento de ciclo de vida, deslizamientos, desnivel entre secciones, confort vial y desprendimiento de agregados favorecen al desgaste de la estructura vial y aumento de costos de reparación,

Por lo tanto, se recomienda realizar un estudio preventivo que considere la mejora del diseño estructural según su normativa, el mejoramiento de los estudios de suelos, y la gestión eficaz del agua y el drenaje, así como acciones de mantenimiento que alarguen la vida útil de las vías y el confort de los ciudadanos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

El trabajo de investigación nos ayudó a analizar la influencia de los factores externos en el deterioro del pavimento flexible de las vías de segundo orden del cantón Guano. Las causas con mayor porcentaje de incidencia son la inestabilidad del suelo, diseño deficiente, falta de conciencia vial, humedad, infiltración de agua entre otras. Dichas causas provocan fallas como baches, desprendimiento de agregados, fisuras, deformaciones entre otras fallas, disminuyendo el PCI, lo cual afecta a su funcionalidad y a la seguridad para los usuarios.

La inspección visual nos permitió identificar fallas más críticas en los tramos analizados, y mediante el PCI de evidencia que algunas presentan valores críticos que requieren atención urgente para su buen funcionamiento vial, también se identificó varios puntos de declive que no son aceptables lo cual perjudica a la comodidad de usuarios. Este tipo de análisis ayudó a identificar con profundidad puntos críticos en los cuales se identificaron sus fallas, causas y consecuencias con mayor precisión.

Al definir los factores externos que producen el deterioro del pavimento flexible, se clasificó en cinco grupos principales que son: factores constructivos, climáticos, geotécnicos, edad del pavimento y factores humanos. Los factores más recurrentes son el constructivo y el humano los cuales destacan por tener causa como deficiencias en la calidad de materiales, procesos constructivos mal ejecutados, pasos de tuberías, falta de supervisión de obras, mala calidad de talud, entre otras. Esta clasificación nos ayudó a comprender la naturaleza del deterioro, así como su variabilidad en función de la ubicación geográfica, tipo de tráfico y condiciones del entorno vial.

Para el impacto de los factores externos en el estado de las vías, se demostró que su influencia es directa en el comportamiento del pavimento flexible. El uso de herramientas estadísticas y gráficas dinámicas nos muestra que en tramos donde se enlazan múltiples factores como sobrecarga vehicular, mal drenaje, calidad de talud, cambio de temperatura, entre otras. Esta medición cuantitativa respaldó la necesidad de implementar inspecciones periódicas, mejorar la fiscalización en la ejecución de obras y realizar mantenimientos periódicos para conservar el estado de la infraestructura vial.

Recomendaciones

Se recomienda realizar programas enfocados en la gestión y mantenimiento vial que trate sobre el análisis del PCI, donde se trata de información con base de datos sobre los tipos de fallas encontrados, causas relacionadas y sus posibles consecuencias que con ellos se logra tener un respaldo técnico para estar enfocado en factores más críticos que conlleven a un desgaste acelerado del pavimento flexible.

Por otro lado, se debe realizar sistema de monitoreo donde se utilicen herramientas tecnológicas que ayude a generar reportes dinámicos a la intervención de las fallas viales, siendo este un sistema que nos ayude a identificar fallas recurrentes que estén asociadas a

sus causas particulares, también se sugiere la intervención de fiscalización en obra para evitar procesos constructivos deficientes junto al cumplimiento de normativas viales.

A partir de los resultados del PCI obtenidos en este estudio, se recomienda intervenir en tramos como los de las vías Guano–San Andrés y Guano–Santa Teresita, donde se identificaron valores inferiores a 40, ya que su estado crítico puede generar riesgos para la seguridad vial y aumentar los costos de rehabilitación estructural si no se actúa a tiempo. Es indispensable que estos tramos sean sometidos a intervenciones correctivas mayores como reciclaje de la carpeta asfáltica, estabilización de la subrasante y mejorar el diseño estructural de la vía, en lugar de optar únicamente por soluciones superficiales como sellado de fisuras o bacheo.

Se recomienda el uso de herramientas tecnológicas para el análisis cualitativo de datos, en donde se logra apreciar de mejor manera las relaciones entre varias variables como puede ser entre tipos de fallas, causas y consecuencias del deterioro del pavimento flexible y con ello identificar las causas más comunes a ser solucionadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Árevalo, N. (2019). Obtenido de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/9154/1001_e_4%20%281%29.pdf?sequence=1
- Asphalt Institute. (2007). Manual series: Asphalt pavement design guide. Obtenido de <https://www.apai.net/Files/content/DesignGuide/AsphaltCompositeSmFst.pdf>
- ASTM D6433-20. (2020). Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. Obtenido de <https://pages.mtu.edu/~balkire/CE5403/ASTMD6433.pdf>
- Beltrán, I. (Septiembre de 2014). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S140577431470349X>
- Booz, Barriga, & Wilbur. (1999). Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/96538984/Tratamientos-de-Fallas-en-Pavimentos>
- Boris. (2019). INFORME DE FALLAS CONSIDERADAS EN. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/434717870/Informe-de-Fallas-Pavimento-Flexible>
- Cedeño, & Cevallos. (Septiembre de 2014). PROPUESTA DE METODOLOGÍA COMPLEMENTARIA A LOS DISEÑOS. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3131/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-100.pdf>
- Crespo, & Tinoco. (2017). Análisis de daño por causa del envejecimiento y auscultación en estructuras de. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/5dada49e-ae39-4aa4-b10f-31adb343c796/content>
- Delgadillo, Martínez, & Salazar. (2016). Análisis de las fallas en pavimentos flexibles: causas y recomendaciones de mantenimiento. Obtenido de <https://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identifici%C3%B3n-fallas.pdf>
- Flores, L. (2018). ANÁLISIS DE DETERIOROS SUPERFICIALES. Obtenido de https://repositorio.uap.edu.pe/jspui/bitstream/20.500.12990/8892/1/Tesis_An%C3%A1lisis_Deterioros_Superficiales.pdf
- Fonseca, A. M. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras. Obtenido de https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo_Fonseca
- Gestion vial. (2024). Trabajos de investigacion formativa de la materia de gestion vial. Riobamba.

- Gonzales. (2005). Evaluación superficial del pavimento mediante inspección visual. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/4284/1/GARCIA%20VELIZ%20LEONARDO%20ADRIAN.pdf>
- Huang. (2004). Pavement Analysis and Design. Obtenido de <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1555821>
- Justavino, M. (18 de Noviembre de 2022). Evaluación y clasificación de vías en el corregimiento de David Sur, aplicando el método PCI. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/372836410_Evaluacion_y_clasificacion_de_vias_en_el_corregimiento_de_David_Sur_aplicando_el_metodo_PCI
- Kalpokaite, N. (2019). Análisis de datos cualitativos. Obtenido de https://www.ciaiq.org/wp-content/uploads/2019/06/Workshop34_CIAIQ2019_Introduccion_ATLAsTi_ES_KalpokaiteRadivojevic.pdf
- Liu, Z., & Yu, X. (2013). Examining effects of climatic factors on flexible pavement performance nad service life. Obtenido de <https://doi.org/10.3141/2349-11>
- Macea, F. (Junio de 2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405774316300075>
- Massenlli, & Paiva. (Diciembre de 2019). Influencia de la deflexión superficial en pavimentos flexibles con subrasante de baja resistencia. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000400613
- Medina, D. (2018). INFLUENCIA DE FACTORES PAVIMENTO FLEXIBLE. Obtenido de https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/2718/Tesis_Influencia_Factores_Externos_Deterioro.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Montejo. (2018). Deterioro de paviemntos flexibles: causas y soluciones. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/view/12040>
- Palma, M. A. (2022). Influencia de las fallas superficiales del. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12397/2/IV_FIN_105_TE_Holgado_Palma_2022.pdf
- PIARC. (2020). Vehículos con sobrecarga: impacto en la infraestructura y la seguridad vial. Obtenido de <https://www.piarc.org/es/pedido-de-publicacion/36918-es-Veh%C3%ADculos%20con%20sobrecarga:%20impacto%20en%20la%20infraestructura%20y%20la%20seguridad%20vial>
- Pineda, K. H. (2015). ANÁLISIS SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/249337494.pdf>
- Ragnoli, A. (19 de Diciembre de 2018). Pavement Distress Detection Methods. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2412-3811/3/4/58>

- Rebolledo, & Miranda. (2010). DETERIOROS EN PAVIMENTOS. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
- Robinson. (2014). A field study on the deterioration of unpaved roads and the effect of different maintenance strategies. Obtenido de <https://transport-links.com/wp-content/uploads/2019/11/a-field-study-on-the-deterioration-of-unpaved-roads-and-the-effect-of-different-maintenance-strategies-eighth-regional-conference-for-africa-on-soil-mechanics.pdf>
- Romero, D. (2017). CUALIFICACIÓN CUANTITATIVA DE LAS PATOLOGÍAS EN EL PAVIMENTO. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/0cf2324f-9b55-4827-aaf1-af882756c4f5>
- Rondón, & Reyes. (2015). Evaluación del deterioro en pavimentos asfálticos: causas y tratamientos. Obtenido de <https://portalrevistas.aulavirtualusmp.pe/index.php/rc/article/view/2185?articlesBySimilarityPage=7>
- Salazar, P., & Gonzalez, P. (01 de Marzo de 2023). DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22644/1/Gonz%C3%A1lez%20Pazmi%C3%B1o%2C%20Isaac%2004.pdf>
- Saleh, Mocelin, & Elwardany. (s.f.). Effects of aging on asphalt mixture and pavement performance. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119744>
- University of California . (Febrero de 2021). Pavement Condition. Obtenido de <https://www.ucprc.ucdavis.edu/ccpic/pdf/PCI%204-Pager%20final%20v2.pdf>

ANEXOS

Anexo 1.

Identificación de tipos de falla de las vías secundarias del cantón Guano.

Vías de estudio	Coordenadas		Tipos de falla
	Este (X)	Norte (Y)	
Guano-San Andrés	761557	9822315	Bache/Servicio
	761557	9822315	Piel de cocodrilo
	761557	9822315	Piel de cocodrilo
	761557	9822315	Longitudinal/ Transversal
	761557	9822315	Longitudinal/ Transversal
	761144	9822417	Desprendimiento de agregados
	761144	9822417	Desprendimiento de agregados
	761144	9822417	Piel de cocodrilo
	761144	9822417	Piel de cocodrilo
	761144	9822417	Fisuras de borde
San Isidro Josefina	760285	9823320	Bache/Servicio
	760285	9823320	Bache/Servicio
	760285	9823320	Desprendimiento de agregados
	760285	9823320	Desprendimiento de agregados
	760185	9223349	Bache/Servicio
	760185	9223349	Bache/Servicio
	760185	9223349	Longitudinal/ Transversal
	760185	9223349	Longitudinal/ Transversal
	760185	9223349	Longitudinal/ Transversal

	760185	9223349	Longitudinal/ Transversal
Valparaíso	768059	9822563	Longitudinal/ Transversal
	768059	9822563	Longitudinal/ Transversal
	768059	9822563	Longitudinal/ Transversal
	768741	9823898	Longitudinal/ Transversal
	768741	9823898	Longitudinal/ Transversal
Guano Santa Teresita	769300	9825229	Longitudinal/ Transversal
	769300	9825229	Longitudinal/ Transversal
	769300	9825229	Corrimiento / Desplazamiento
	769300	9825229	Fisura de arco
	7688609	9823249	Desprendimiento de agregados
	7688609	9823249	Desprendimiento de agregados
	7688609	9823249	Escalonamiento Calzada
	7688609	9823249	Escalonamiento Calzada
	7688609	9823249	Abultamientos y Hundimientos
7688609	9823249	Abultamientos y Hundimientos	
Vía Urbina	750035	9829938	Fisura de arco
	750035	9829938	Fisura de arco
	750035	9829938	Fisura de arco
	750035	9829938	Desprendimiento de agregados
	750035	9829938	Desprendimiento de agregados
	750035	9829938	Longitudinal/ Transversal
	750035	9829938	Longitudinal/ Transversal
	750035	9829938	Escalonamiento Calzada

	750035	9829938	Escalonamiento Calzada
	749888	9829047	Bache/Servicio
	749888	9829047	Bache/Servicio
	749888	9829047	Fisuras en bloque
	749888	9829047	Piel de cocodrilo
	749888	9829047	Piel de cocodrilo
	749812	9828152	Bache/Servicio
	749812	9828152	Bache/Servicio
	749812	9828152	Longitudinal/ Transversal
	749812	9828152	Longitudinal/ Transversal
	749812	9828152	Piel de cocodrilo
	749812	9828152	Piel de cocodrilo
	749812	9828152	Escalonamiento Calzada
	749812	9828152	Escalonamiento Calzada
	749812	9828152	Escalonamiento Calzada
Talaguag	752218,1	9825857,9	Bache/Servicio
	752218,1	9825857,9	Bache/Servicio
	752022,1	9825990,6	Longitudinal/ Transversal
	752022,1	9825990,6	Longitudinal/ Transversal
	752022,1	9825990,6	Longitudinal/ Transversal
	752022,1	9825990,6	Longitudinal/ Transversal
	751630	9826583,3	Bache/Servicio
	751630	9826583,3	Bache/Servicio
	751630	9826583,3	Fisuras en bloque

	751630	9826583,3	Fisuras en bloque
	751630	9826583,3	Longitudinal/ Transversal
	751630	9826583,3	Longitudinal/ Transversal
San Pablo Talaguag	753628,7	9826497,4	Piel de cocodrilo
	753628,7	9826497,4	Piel de cocodrilo
	753628,7	9826497,4	Desprendimiento de agregados
	753628,7	9826497,4	Desprendimiento de agregados
	753628,7	9826497,4	Abultamientos y Hundimientos
	753628,7	9826497,4	Abultamientos y Hundimientos
	753568,3	9826454,7	Huecos
	753568,3	9826454,7	Huecos
	753568,3	9826454,7	Desprendimiento de agregados
	753568,3	9826454,7	Desprendimiento de agregados
	753568,3	9826454,7	Piel de cocodrilo
	753568,3	9826454,7	Piel de cocodrilo
	753487,7	9826394,6	Abultamientos y Hundimientos
	753487,7	9826394,6	Abultamientos y Hundimientos
	753487,7	9826394,6	Desprendimiento de agregados
	753487,7	9826394,6	Desprendimiento de agregados
	753487,7	9826394,6	Huecos
	753487,7	9826394,6	Huecos
	7539914	9825668	Piel de cocodrilo
	7539914	9825668	Piel de cocodrilo
	7539914	9825668	Longitudinal/ Transversal

	7539914	9825668	Longitudinal/ Transversal
	7539914	9825668	Fisuras en bloque
	7539914	9825668	Fisuras en bloque
Guano Illapo	766229	9822241	Longitudinal/ Transversal
	766229	9822241	Longitudinal/ Transversal
	766229	9822241	Roderas o ahuellamiento
	766229	9822241	Roderas o ahuellamiento
	766229	9822241	Fisuras de borde
	768059	9822563	Longitudinal/ Transversal
	768059	9822563	Fisuras de borde
	768059	9822563	Fisuras de borde
	768677	9823365	Longitudinal/ Transversal
	768677	9823365	Longitudinal/ Transversal
	768677	9823365	Piel de cocodrilo
	768677	9823365	Piel de cocodrilo
	768741	9823898	Roderas o ahuellamiento
	768741	9823898	Piel de cocodrilo
	768741	9823898	Piel de cocodrilo
	768741	9823898	Fisuras en bloque
	768741	9823898	Fisuras en bloque
	768794	9824816	Fisuras de borde
	768794	9824816	Longitudinal/ Transversal
	768794	9824816	Longitudinal/ Transversal
768794	9824816	Roderas o ahuellamiento	

768794	9824816	Roderas o ahuellamiento
768896	9825106	Fisuras en bloque
768896	9825106	Longitudinal/ Transversal
768896	9825106	Longitudinal/ Transversal
768896	9825106	Fisuras de borde
768896	9825106	Fisuras de borde
769272	9825412	Roderas o ahuellamiento
769272	9825412	Roderas o ahuellamiento
769272	9825412	Corrimiento / Desplazamiento
769272	9825412	Corrimiento / Desplazamiento
769272	9825412	Escalonamiento Calzada
769272	9825412	Escalonamiento Calzada
769272	9825412	Escalonamiento Calzada
769291	9825211	Piel de cocodrilo
769291	9825211	Piel de cocodrilo
769291	9825211	Desprendimiento de agregados
769291	9825211	Desprendimiento de agregados
769291	9825211	Roderas o ahuellamiento
769291	9825211	Roderas o ahuellamiento
769291	9825211	Roderas o ahuellamiento
768845	9824961	Piel de cocodrilo
768845	9824961	Piel de cocodrilo
768845	9824961	Abultamientos y Hundimientos
768845	9824961	Abultamientos y Hundimientos

	768845	9824961	Roderas o ahuellamiento
	768845	9824961	Roderas o ahuellamiento
	768845	9824961	Roderas o ahuellamiento
	768845	9824961	Escalonamiento Calzad
	768845	9824961	Escalonamiento Calzada
	768845	9824961	Escalonamiento Calzada
	769343	9825086	Piel de cocodrilo
	769343	9825086	Fisuras de borde
	769343	9825086	Fisuras de borde
	769343	9825086	Desprendimiento de agregados
	769343	9825086	Desprendimiento de agregados
	769343	9825086	Abultamientos y Hundimientos
	769343	9825086	Abultamientos y Hundimientos
Santa Fe De Galán	769149	9830861	Piel de cocodrilo
	769149	9830861	Piel de cocodrilo
	769149	9830861	Desprendimiento de agregados
	769149	9830861	Desprendimiento de agregados
	769149	9830861	Escalonamiento Calzada
	769149	9830861	Escalonamiento Calzada
	769149	9830861	Fisuras de borde
	769149	9830861	Fisuras de borde
	769149	9830861	Roderas o ahuellamiento
	769149	9830861	Roderas o ahuellamiento
	769403	9832182	Desprendimiento de agregados

769403	9832182	Desprendimiento de agregados
769403	9832182	Fisuras de borde
769403	9832182	Fisuras de borde
769403	9832182	Longitudinal/ Transversal
769403	9832182	Longitudinal/ Transversal
769403	9832182	Fisura de arco
769403	9832182	Fisura de arco
769403	9832182	Fisura de arco
769625	9833343	Longitudinal/ Transversal
769625	9833343	Longitudinal/ Transversal
769625	9833343	Escalonamiento Calzada
769625	9833343	Escalonamiento Calzada
769625	9833343	Escalonamiento Calzada
769625	9833343	Bache/Servicio
769625	9833343	Bache/Servicio
769248	9834648	Longitudinal/ Transversal
769248	9834648	Longitudinal/ Transversal
769248	9834648	Abultamientos y Hundimientos
769248	9834648	Abultamientos y Hundimientos
769248	9834648	Roderas o ahuellamiento
769248	9834648	Roderas o ahuellamiento
769248	9834648	Roderas o ahuellamiento

Anexo 2.

Trabajo realizado en campo para identificación de los tipos fallas.



Anexo 3.

Procesamiento de datos del PCI de las vías secundarias.



Anexo 4.

Base de datos para cálculo de PCI.

VIA	AÑO DE CON AÑO LEVANTRAMO	ANCHO MUESTRA	AREA DE LA MUESTRA	PCI	AREA DE FALLA REGISTRADA	AREA DE FALLA REGISTRADA	
						1.Longitudinal/ Transversal	
						Alta	Media
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	0	40	8,75	350	81,739	24,384
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	40	80	8,75	350	85,739	24,384
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	80	120	8,75	350	85,739	24,384
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	120	160	8,75	350	85,739	24,384
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	160	200	8,75	350	85,739	24,384
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	200	240	8,75	350	85,739	24,384
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	240	280	8,75	350	85,739	24,384
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	280	320	8,75	350	85,739	24,384
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	320	360	8,75	350	85,739	24,384
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	360	400	8,75	350	85,739	24,384
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA	2023	400	440	8,75	350	85,739	24,384

Anexo 5.

Procesamiento de datos para cálculo de PCI

VIA	COORDENADAS		PCI		AREA DE FALLA REGISTRADA			2.Fiel de Coccidrio			3.Fisuras en Bloque			4.Ref Ju
	X	Y	PROMEDIO	MEDIANA	1.Longitudinal/ Transversal									
					Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	
E35 (SAN ANDRÉS) VÍA A URBINA			85,65	85,74										
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)			97,95	100,00			9							
G007 RUTA TALAGUAG			91,14	94,07	0,5		4,44	21,65					25,85	
G009 E35 (SAN PABLO) TALAGUAG			90,99	94,20	0,2			1,5						
G011 VIA URBINA			97,48	100,00	10,01		12	3,35					4,9	
G013 RUTA E490 GUANO (STA TERESITA)			95,03	100,00	5,4	23,9	3,2	2,08			2,25		0,75	
Guano - Ilapo			90,60	100,00	1567,576		98,207	91,593					2,845	10
Guano-San Andrés			26,26	28,60	0,516328	368,63397	241,583206	224,667972			6567,03032			
Ilapo-Santa fe de Galan			98,93	100,00	50,15									

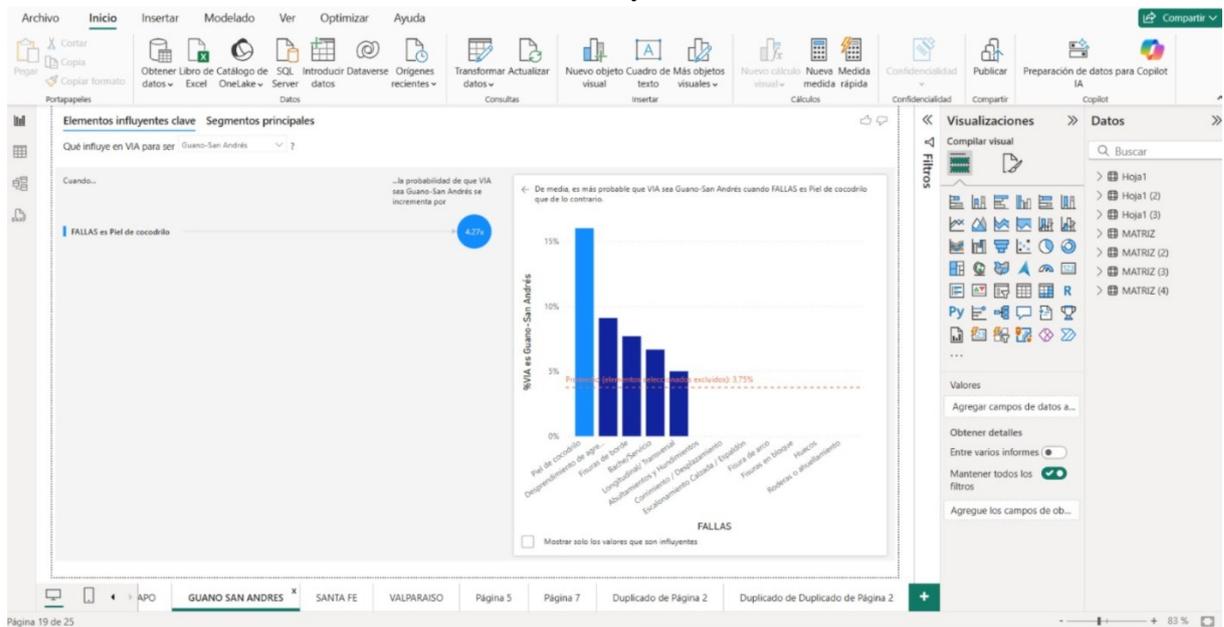
Anexo 6.

Procesamiento de datos y matriz con la ayuda del software "EXCEL"

VIA	X	Y	FALLA GENERAL	FALLAS	FACTOR SECUNDARIO	ORIGEN PRINCIPAL
Guano-San Andrés	761557	9822315	Desintegraciones	Bache/Servicio	Paso de tubería	CONSTRUCTIVO
Guano-San Andrés	761557	9822315	Figuración o Agritamientos	Piel de cocodrilo	Material defectuoso	CONSTRUCTIVO
Guano-San Andrés	761557	9822315	Figuración o Agritamientos	Piel de cocodrilo	Movimiento de suelo	GEOTECNICOS
Guano-San Andrés	761557	9822315	Figuración o Agritamientos	Longitudinal/ Transversal	Falta de conciencia vial	HUMANOS
Guano-San Andrés	761557	9822315	Figuración o Agritamientos	Longitudinal/ Transversal	Falta de conciencia vial	HUMANOS
Guano-San Andrés	761144	9822417	Desintegraciones	Desprendimiento de agregados	Material defectuoso	CONSTRUCTIVO
Guano-San Andrés	761144	9822417	Desintegraciones	Desprendimiento de agregados	Falta de conciencia vial	HUMANOS
Guano-San Andrés	761144	9822417	Figuración o Agritamientos	Piel de cocodrilo	Movimiento de suelo	GEOTECNICOS
Guano-San Andrés	761144	9822417	Figuración o Agritamientos	Piel de cocodrilo	Material defectuoso	CONSTRUCTIVO
Guano-San Andrés	761144	9822417	Desintegraciones	Fisuras de borde	Impacto climático en infraestructura	CLIMA
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)	760285	9823320	Desintegraciones	Bache/Servicio	Diseño deficiente	CONSTRUCTIVO
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)	760285	9823320	Desintegraciones	Bache/Servicio	Movimiento de suelo	GEOTECNICOS
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)	760285	9823320	Desintegraciones	Desprendimiento de agregados	Diseño deficiente	CONSTRUCTIVO
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)	760285	9823320	Desintegraciones	Desprendimiento de agregados	Material defectuoso	CONSTRUCTIVO
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)	760185	9223349	Desintegraciones	Bache/Servicio	Diseño deficiente	CONSTRUCTIVO
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)	760185	9223349	Desintegraciones	Bache/Servicio	Material defectuoso	CONSTRUCTIVO
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)	760185	9223349	Figuración o Agritamientos	Longitudinal/ Transversal	Deformación recurrente.	GEOTECNICOS
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)	760185	9223349	Figuración o Agritamientos	Longitudinal/ Transversal	Asentamiento diferencial	GEOTECNICOS
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)	760185	9223349	Figuración o Agritamientos	Longitudinal/ Transversal	Deformación recurrente.	GEOTECNICOS
G004 SAN ISIDRO (JOSEFINA)	760185	9223349	Figuración o Agritamientos	Longitudinal/ Transversal	Falta de conciencia vial	HUMANOS
VALPARAISO	768059	9822563	Figuración o Agritamientos	Longitudinal/ Transversal	Asentamiento diferencial	GEOTECNICOS
VALPARAISO	768059	9822563	Figuración o Agritamientos	Longitudinal/ Transversal	Fatiga de material	GEOTECNICOS

Anexo 7.

Procesamiento de datos con la ayuda del software "Power BI"



Anexo 8.

Procesamiento de datos con ayuda del software "Atlas.ti"

The screenshot displays the Atlas.ti software interface. The main window is titled 'Tabla código-documento' and contains a data table with the following structure:

	1: MOVIL.	2: CALZA.	3: CONFL.	4: DEFOR.	5: DESLIZ.	6: USO PR.	7: INFILTR.	8: MATER.	9: ASENT.
DEFECTO E...	7	3						4	2
DESGASTE...	1					1			
FALTA DE...	2					2			
IMPACTO...	2						2		
INESTABIL...	7		2	2	1				2
Totales	7	3	2	2	1	3	2	4	2

Below the table, a Sankey diagram visualizes the data flow. The diagram shows the following categories and their associated values:

- FAUTA DE CONSCIENCIA VIAL: 7
- DESGASTE POR ENVEJECIMIENTO: 1
- IMPACTO CLIMATICO EN INFRAESTRUCTURA VIAL: 2
- INESTABILIDAD DEL SUELO: 7
- DEFECTO ESTRUCTURAL: 7
- USO PROLONGADO: 4
- INFILTRACION DE AGUA: 2
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL: 2
- CONFINAMIENTO INADECUADO: 2
- DEFORMACION RECURRENTE: 2
- DESPLAZAMIENTO LATERAL: 1
- MOVIMIENTO DEL SUELO: 2
- PENDIENTE PRONUNCIADA: 1
- CALZADA ESTRECHA: 1
- MATERIAL DEFECTUOSO: 2

The interface also includes a search bar, a project explorer on the left, and a comment section on the right.