



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Elaboración de mapas de PCI para la planificación del mantenimiento y conservación del pavimento, Av. Maestro Peruano km 0+000 a km 0+653, distrito de Comas.

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Cespedes Chombo, Alvaro Jesus
ORCID: 0000-0002-3148-2968

Remar Arriaga, Alex Vladimir
ORCID: 0000-0001-7880-0564

ASESOR

Estrada Mendoza, Miguel Luis
ORCID: 0000-0002-8646-3852

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de los autores

Céspedes Chombo, Alvaro Jesús

DNI: 75201805

Remar Arriaga, Alex Vladimir

DNI: 76288930

Datos de asesor

Estrada Mendoza, Miguel Luis

DNI: 10493289

Datos del jurado

JURADO 1

Sueldo Mesones, Jaime Pío

DNI: 43703437

ORCID: 0000-0003-3760-8370

JURADO 2

Fano Miranda, Gonzalo Ramcés

DNI: 09178719

ORCID: 0000-0002-4401-8654

JURADO 3

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a dios, a mis padres por el amor que me brindan, por enseñarme a ser una persona con valores; a mi hermana, a mi cuñado, a mi sobrina, a mis tíos, a mis abuelos por ser mi fuente de motivación para lograr mis objetivos. Por supuesto a mis asesores por guiarme durante todo el proceso de tesis, también a mis amigos por ayudarme cuando más los necesito.

Cespedes Chombo, Alvaro Jesus

El presente trabajo de investigación va dedicado a Dios por guiarme y acompañarme en el transcurso de mi vida, a mis padres que creyeron y me apoyaron incondicionalmente para lograr mi crecimiento académico, a mis abuelos, tíos, hermanos, amigos y maestros que contribuyeron para realizarme como profesional.

Remar Arriaga, Alex Vladimir

AGRADECIMIENTO

Nuestro franco agradecimiento a la Universidad Ricardo Palma, por brindarnos conocimiento mediante los docentes para ser profesionales; a nuestros asesores de tesis el Ing. Estrada Mendoza, Miguel y al Ing. Gonzalo Fano por la dedicación y el tiempo brindados para lograr obtener nuestro título.

Álvaro Cespedes y Alex Remar

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
INTRODUCCIÓN.....	III
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos.....	1
1.1.1 Problema y la importancia.....	1
1.2.1 Problema general	1
1.2.2 Problemas específicos.....	1
1.2 Objetivos general y específico	1
1.3.1 Objetivo general	1
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática	2
1.4.1 Geográfica	2
1.4.2 Temporal.....	4
1.4.3 Temática	4
1.4.4 Muestral	4
1.4 Justificación e importancia.....	4
1.5.1 Conveniencia	4
1.5.2 Relevancia Social	4
1.5.3 Utilidad Metodológica.....	5
1.5.4 Valor Teórico.....	5
1.5 Importancia del estudio	5
1.6.1 Nuevos conocimientos.....	5
1.6.2 Aporte	5
1.6 Limitaciones	6
1.7 Alcance.....	6
1.8 Viabilidad.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1 Marco Histórico.....	7
2.2 Antecedentes del estudio de investigación.....	8
2.2.1 Investigaciones Internacionales.....	8

2.2.2	Investigaciones Nacionales.....	10
2.3	Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio.....	13
2.3.1	Generalidades	13
2.3.2	Definición de pavimento	14
2.3.3	Clasificación del pavimento	16
2.3.4	Componentes estructurales de los pavimentos	17
2.3.5	Etapas en los pavimentos	18
2.3.6	Diseño y construcción	18
2.3.7	Mantenimiento.....	19
2.3.8	Rehabilitación.....	19
2.3.9	Fotogrametría	20
2.3.10	Dron – Vehículo aéreo no tripulado (UAV).....	21
2.3.11	Tipos de Drones.....	22
2.3.12	Metodología de Índice de Condición de Pavimento (PCI).....	22
2.3.13	Serviciabilidad de los pavimentos	23
2.3.14	Evaluación de Pavimentos.....	25
2.3.15	Importancia de Evaluación de Pavimentos.....	25
2.3.16	Objetividad en la Evaluación de Pavimentos	26
2.3.17	Curva de Comportamiento de los Pavimentos	26
2.3.18	Fallas en pavimentos flexibles.....	27
2.4	Definición de términos básicos	42
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS		43
3.1	Hipótesis.....	43
3.1.1	Hipótesis principal.....	43
3.1.2	Hipótesis secundarias	43
3.2	Variables.....	43
3.2.1	Definición conceptual de las variables	43
3.2.2	Operacionalización de las variables	48
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		49
4.1	Tipo y nivel	49
4.1.1	Tipo de la Investigación	49
4.1.2	Nivel de la Investigación	49
4.2	Diseño de investigación.....	49

4.3	Población y muestra	49
4.3.1	Población	49
4.3.2	Muestra	50
4.4	Técnicas e instrumentación de recolección de datos.....	51
4.4.1	Tipos de técnicas e instrumentos	51
4.4.2	Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	53
4.4.3	Procedimientos para la recolección de datos	53
4.5	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	57
4.5.1	Generalidades	57
4.5.2	Procesamiento de imágenes.....	58
4.5.3	Identificación y metrado de las fallas	62
4.5.4	Levantamiento de fallas en campo	71
4.5.5	Cálculo del PCI en pavimentos flexibles.....	73
	CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
5.1	Diagnóstico y situación actual:.....	78
5.2	Presentación de los resultados	78
5.3	Análisis de los resultados	90
5.3.1	Propuesta técnica y económica para la intervención de la vía	96
5.3.2	Presupuesto de intervención vial	98
	DISCUSIÓN	107
	CONCLUSIONES	108
	RECOMENDACIONES.....	110
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
	ANEXOS	114
	ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	114
	ANEXO 2: MAPA DEL PCI.....	116
	ANEXO 3: CURVAS DE VALOR DEDUCIDO	132
	ANEXO 4: TABLA DE REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO	135
	ANEXO 5: UBICACIÓN DE FALLAS EN SURVEY123	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Índice de condición del pavimento, según rangos de clasificación (PCI)	23
Tabla 2: Escala de Serviciabilidad según AASHTO	24
Tabla 3: Variables	44
Tabla 4: Operacionalización de Variables	48
Tabla 5: Resumen de los valores de PCI en la Av. Maestro peruano	90
Tabla 6: Índice de estado superficial del pavimento.....	91
Tabla 7: Resumen de la condición de acción en la vía 1 de la Av. Maestro Peruano	92
Tabla 8: Resumen de la condición de acción en la vía 2 de la Av. Maestro Peruano	93
Tabla 9: Matriz de confusión UM1	96
Tabla 10: Costo unitario de Fresado de carpeta asfáltica	99
Tabla 11: Costo unitario de Imprimación asfáltica.....	100
Tabla 12: Costo unitario de carpeta asfáltica en caliente.....	102
Tabla 13: Costo unitario de pintura de líneas discontinuas	103
Tabla 14: Costo unitario de marcas en el pavimento con microesferas.....	104
Tabla 15: Costo unitario de construcción de reductor de velocidad.....	105
Tabla 16: Presupuesto de mantenimiento y conservación del pavimento	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ruta del tramo de las vías de la Av. Maestro Peruano.....	4
Figura 2: Partes de un pavimento	14
Figura 3: Comportamiento de los tipos de pavimento.....	17
Figura 4: Curva de comportamiento de los pavimentos.	27
Figura 5: Piel de cocodrilo – Alta severidad.....	28
Figura 6: Fisuras en bloques – Alta severidad.....	29
Figura 7: Fisuras de borde – Alta severidad.	30
Figura 8: Fisuras de reflexión de junta – Alta severidad.	30
Figura 9: Fisuras longitudinal y transversal – Alta severidad.	31
Figura 10: Fisuras parabólica o por deslizamiento– Alta severidad.....	32
Figura 11: Abultamiento y hundimiento.....	32
Figura 12: Corrugación – Alta Severidad.	33
Figura 13: Depresión – Alta Severidad.....	34
Figura 14: Ahuellamiento – Alta Severidad.	34
Figura 15: Desplazamiento – Alta Severidad.	35
Figura 16: Hinchamiento.	36
Figura 17: Bache – Alta Severidad.	36
Figura 18: Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados. – Alta Severidad.	37
Figura 19: Exudación – Alta Severidad.....	37
Figura 20: Desnivel Carril-Berma – Alta Severidad.	38
Figura 21: Agregado Pulido.....	38
Figura 22: Parches y parches de cortes utilitarios – Alta Severidad.....	39
Figura 23: Cruce de Vía Férrea – Alta Severidad.....	39
Figura 24: Dron DJI Mavic 2 Pro.	51
Figura 25::Encuesta para la evaluación en campo.....	53
Figura 26: Línea de vuelo 1 en DroneDeploy.....	54
Figura 27: Línea de vuelo 2 en DroneDeploy.....	54
Figura 28: Línea de vuelo 3 en DroneDeploy.....	55
Figura 29: Despegue de dron.....	56
Figura 30: Ubicación de las fotografías.....	58
Figura 31: Nube de puntos densificada.....	58

Figura 32: Modelo 3D de la Avenida Maestro Peruano.	59
Figura 33: Modelo Digital de Superficie.	59
Figura 34: Ortofoto.	60
Figura 35: Línea de vuelo 1 en Pix4dmapper.	60
Figura 36: Línea de vuelo 2 en Pix4dmapper.	60
Figura 37: Línea de vuelo 3 en Pix4dmapper.	61
Figura 38: Ortofoto original.....	61
Figura 39: Ortofoto sin vehículos.	62
Figura 40: Fotografías de un punto de la ortofoto.	62
Figura 41: Piel de cocodrilo en ortofoto.	63
Figura 42: Reparaciones o parchados en ortofoto.	63
Figura 43: Fisura transversal en ortofoto.....	64
Figura 44: Fisura transversal con filtro en ortofoto.	64
Figura 45: Bache en ortofoto.	65
Figura 46: Profundidad de bache en ortofoto	65
Figura 47: Fisura de borde en ortofoto.	66
Figura 48: Fisura longitudinal.....	67
Figura 49: Fisura longitudinal con filtro.....	67
Figura 50: Peladura y desprendimiento en ortofoto.....	68
Figura 51: Deformación por deficiencia estructural en ortofoto	69
Figura 52: Deformación por deficiencia estructural en DSM.....	69
Figura 53: Profundidad de la Deformación por deficiencia estructural.....	70
Figura 54: Corrugación en ortofoto	70
Figura 55: Fisura parabólica en ortofoto.....	71
Figura 56: Inspección visual en campo.....	72
Figura 57: Medición de falla de tipo bache.	72
Figura 58: Ejemplo de hoja de registro en una unidad de muestra en una vía de pavimento flexible.	74
Figura 59: Cálculo del valor deducido corregido para la determinación del PCI en una unidad de muestra.	76
Figura 60: Curvas de corrección del Valor Deducido para Pavimentos Asfálticos.....	76
Figura 61: Mapa general del estado de la vía 1 y 2.	77
Figura 62: Programación de cálculo del PCI.	82

Figura 63: Software de registro y cálculo del PCI de la unidad de muestra UM1, Vía 1 – Tramo 1, de la Av. Maestro Peruano	83
Figura 64: Software de registro y cálculo del PCI de la unidad de muestra UM3, Vía 1 – Tramo 1, de la Av. Maestro Peruano.	84
Figura 65: Software de registro y cálculo del PCI de la unidad de muestra UM7, Vía 1 – Tramo 1, de la Av. Maestro Peruano.	85
Figura 66: Software de registro y cálculo del PCI de la unidad de muestra UM3, Vía 2 – Tramo 1, de la Av. Maestro Peruano.	88
Figura 67: Software de registro y cálculo del PCI de la unidad de muestra UM15, Vía 2 – Tramo 2, de la Av. Maestro Peruano.	89
Figura 68: Porcentaje de los niveles de severidad encontrados.	94
Figura 69: Porcentaje de los tipos de fallas en el pavimento.	95

RESUMEN

En esta investigación exponemos una metodología alternativa para la evaluación de fallas en el pavimento usando imágenes georreferenciadas mediante una aeronave pilotada a distancia (RPA), estas imágenes se procesan generando una ortofoto, un modelo digital de superficie y un modelamiento en 3D de alta resolución del pavimento, permitiendo la inspección de la vía en gabinete para identificar el tipo de falla y severidad como parámetros para emplear el método Pavement Condition Index (PCI).

La evaluación de las fallas del pavimento de tipo flexible se realiza en la Av. Maestro Peruano en el distrito de Comas, empleando el método de inspección de fallas en campo y el método de fotogrametría aérea. Los resultados obtenidos demuestran que el método de fotogrametría aérea es más rápido, no es peligroso, permita elaborar planos con mayor información con valores más verídicos en comparación del método de inspección de fallas en campo.

Finalmente, al elaborar mapas temáticos del PCI para la planificación del mantenimiento y conservación del pavimento, se brinda recursos para los gobiernos municipales para el beneficio de los usuarios

Palabras Clave: PCI, Fotogrametría aérea, ortofoto.

ABSTRACT

In this research we expose an alternative methodology for the evaluation of pavement failures using georeferenced images by means of a remotely piloted aircraft (RPA), these images are processed generating an orthophoto, a digital surface model and a high resolution 3D modeling of the pavement. pavement, allowing the inspection of the road in cabinet to identify the type of failure and severity as parameters to use the Pavement Condition Index (PCI) method.

The evaluation of the failures of the flexible type pavement is carried out on Av. Maestro Peruano in the district of Comas, using the field failure inspection method and the aerial photogrammetry method. The results obtained show that the aerial photogrammetry method is faster, it is not dangerous, it allows the elaboration of plans with more information with more truthful values compared to the method of inspection of faults in the field.

Finally, by preparing PCI thematic maps for pavement maintenance and conservation planning, resources are provided for municipal governments for the benefit of users.

Key words: PCI, aerial photogrammetry, orthophoto.

INTRODUCCIÓN

Las vías colectoras de los distritos de lima metropolitana tienen alto tránsito vehicular que dificulta el trabajo de evaluación del pavimento por el método de inspección visual de fallas en campo que se debe realizar debido a su mal estado por parte de los municipios para el mantenimiento y conservación vial. Una mala solución de las Municipalidades es optar por un tipo de mantenimientos inadecuado debido a que no cuentan con información sobre el estado de condición del pavimento, generando inversiones ineficientes en el mantenimiento.

La evaluación del pavimento permite determinar la condición superficial del pavimento para planificar los trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación necesarios para mejorar la transitabilidad. Los métodos usados actualmente para realizar la evaluación de campo, presenta dificultades debido al alto nivel de tránsito vehicular que obstaculiza el trabajo técnico y también debido a la gran cantidad de personal que supervisa la seguridad de los inspectores, ocasionando mayores gastos.

Por ende, es necesario el uso de métodos modernos, de menor costo y con seguimiento sistemático del deterioro del pavimento, con el fin de obtener recursos para los municipios. Esta investigación, propone una metodología alternativa de evaluación de la superficie de los pavimentos con fotogrametría aérea y se divide en cinco capítulos, resumidos a continuación:

En el Capítulo 1, Planteamiento del problema ¿En qué medida incide la elaboración de mapas temáticos del PCI para la planificación del mantenimiento y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, Distrito de Comas? Delimitando los parámetros de investigación.

En el capítulo 2, se presentan las bases teóricas, las bases técnicas, el marco conceptual además de los antecedentes nacionales e internacionales tanto como los artículos relacionados al tema.

En el capítulo 3, se plantean las hipótesis e identifican las variables dependientes e independientes junto con la tabla de operacionalización.

En el capítulo 4, se desarrolla el método de investigación donde se describe específicamente los procedimientos realizados para la ejecución de la investigación,

se identifica la muestra de estudio, así mismo se detalla las técnicas elaboradas para obtener los resultados.

En el capítulo 5, se presentan los resultados del análisis de las muestras en el pavimento, programación del PCI, condición de acción de la vía, estos factores se analizan desde las dimensiones sociales, económicas y técnicas donde se determina las muestras más dañadas por índice de condición del pavimento; se identifican las áreas con los niveles de severidad y a su vez se presentan medidas de prevención, reducción y control de la vía, por último se redacta una discusión sobre los estudios y necesidades que urge esta avenida ante el inminente peligro de serviciabilidad llegando a las conclusiones y recomendaciones donde se manifiesta el involucramiento de las autoridades a tomar cartas en el asunto y no esperar un accidente para actuar.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

1.1.1 Problema y la importancia

La falta de inversión y planificación para la conservación vial origina que las municipalidades no tengan información del estado de las vías urbanas del distrito generando una planificación inadecuada para la conservación vial. Por otra parte, al realizar la evaluación de fallas en el pavimento de manera tradicional (sin drones), no es posible cerrar la vía totalmente, se pone en riesgo la vida de los evaluadores.

1.1.2 Problema general

¿En qué medida incide la elaboración de mapas temáticos del PCI para la planificación del mantenimiento y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, Distrito de Comas?

1.1.3 Problemas específicos

- a) ¿En qué medida se puede sistematizar los datos obtenidos de la fotogrametría aérea en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653?
- b) ¿En qué medida el análisis de las fotografías permite obtener datos de las fallas del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653?
- c) ¿En qué medida las plataformas geomáticas permiten elaborar mapas temáticos del PCI en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653?
- d) ¿Qué medidas de prevención y conservación de pavimento se pueden plantear para reducir los daños en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653?

1.2 Objetivos general y específico

1.2.1 Objetivo general

Elaborar mapas temáticos del PCI para la planificación del mantenimiento y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, Distrito de Comas.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Obtención de las fotografías de dron de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653 para recolectar información fotogramétrica aérea.
- b) Realizar el análisis de la restitución fotogramétrica, complementando la información con fotografías digitales, para la identificación de las fallas en el pavimento de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, Distrito de Comas.
- c) Calcular el Índice de Condición de Pavimento (PCI) y elaborar mapas temáticos en una plataforma geomática de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653.
- d) Determinar el tipo de intervención y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653.

1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática

1.3.1 Geográfica

La Ubicación geográfica de la Av. Maestro Peruano contiene dos vías que está ubicada en toda su longitud la cual está delimitada por la Av. Tupac Amaru y la Av. Metropolitana, en el Distrito de Comas; el cual tiene un territorio y una población eminentemente urbana, siendo parte de Lima Metropolitana, con cuatro avenidas principales que la cruzan de Norte a Sur: Panamericana Norte, Av. Trapiche, Av. Universitaria y Av. Túpac Amaru. Todo su entorno en Lima Metropolitana son vías integradoras que conectan a importantes zonas que contribuyen a su desarrollo: a través de la Panamericana Norte se integra a Lima Metropolitana, al departamento de Lima y el resto del país. La Av. Trapiche, tramo de la carretera que une la Provincia Constitucional del Callao, que alberga el Puerto y Aeropuerto Internacional Jorge Chávez y continua hacia la Provincia y Ciudad de Canta, y por esta vía a la zona central y oriental del País. Igualmente, las Avenidas Universitaria y Tupac Amaru constituyen vías bastante amplias que facilitan el fácil acceso hacia y desde la gran Lima. Ver Figura 23.

El distrito de Comas está ubicado a una altitud que varía desde 150 a 811 m.s.n.m. por lo que está a mayor altitud que otros distritos de Lima Metropolitana, con una Latitud Sur de $11^{\circ}56'00''$ y una Longitud Oeste de $77^{\circ}04'00''$.

Tiene una superficie total de 48.72 km² que representa el 5 por ciento de la extensión del territorio de Lima Norte y el 1.7 por ciento de la superficie de Lima Metropolitana. El Distrito de Comas con aproximadamente 525,000 habitantes, es el cuarto distrito más poblado del Perú y uno de los 43 que conforman la Provincia de Lima, Región Lima.

El sistema ambiental del distrito de Comas se encuentra marcado por su carácter predominantemente urbano, así como por la presencia de los cerros, y en menor escala por el tramo del río Chillón que bordea en la zona norte.

La zona urbana, que alberga el desarrollo de actividades productivas de bienes y de servicios muchas veces de carácter informal, conllevará la ausencia de cuidados con la emisión de residuos líquidos, gaseosos y sólidos, careciéndose de medios o mecanismos de control o fiscalización, y si los hay, son por demás insuficientes.

Del mismo modo, la presencia de la cadena de cerros constituye una especie de paredón contra el cual vienen a dar y acumularse las emisiones de gases nocivos de la actividad industrial presente en la zona norte de Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao, así como de las partículas de tierra que arrastran los vientos que se dan entre éste y las playas del Océano Pacífico, perjudicando a la población del distrito. Asimismo, el paso del río Chillón no solo arrastra las emisiones de residuos líquidos y sólidos vertidos en él a lo largo de su recorrido, sino que en esta zona también sufre de esta contaminación, constituyéndose en un foco infeccioso que perjudica a la población, requiriendo acciones inmediatas para su recuperación y mantenimiento.

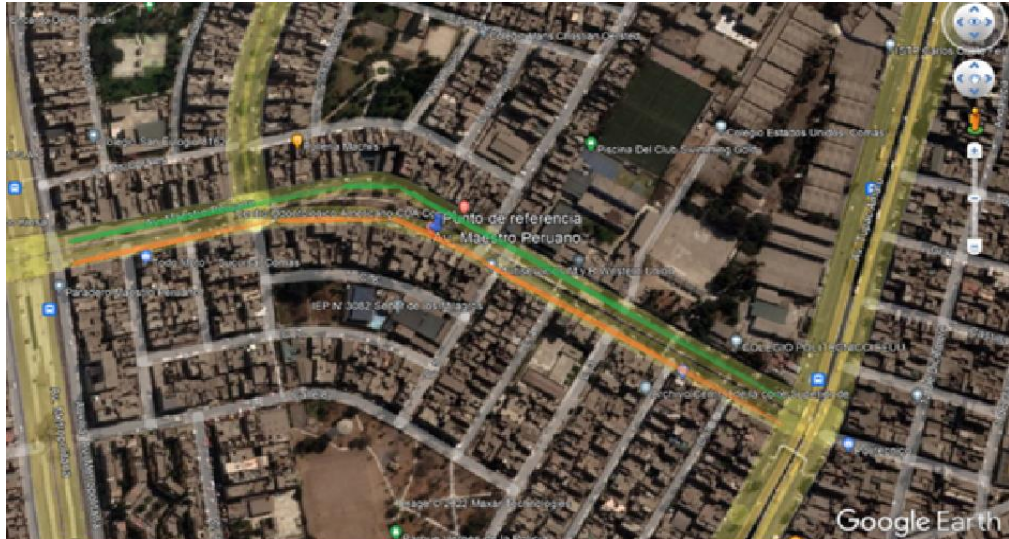


Figura 1: Ruta del tramo de las vías de la Av. Maestro Peruano.
Fuente: Google Earth (2022).

1.3.2 Temporal

La investigación se desarrolla en los meses de mayo a noviembre del año 2022.

1.3.3 Temática

El tema es la evaluación del pavimento para elaborar mapas temáticos del PCI para la planificación del mantenimiento y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, Distrito de Comas.

1.3.4 Muestral

Las muestras que se tomarán en cuenta son 9 secciones en cada vía haciendo la recolección de las encuestas de las secciones en cada vía, siendo un total de 2 profesionales encuestadores.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Conveniencia

Esta investigación es dirigida al sector transporte, primordialmente a las organizaciones públicas y privadas que se desarrollan en proyectos de Mantenimiento o Conservación Vial, con el objetivo de incrementar los rendimientos y reducir los costos en evaluación del pavimento.

1.4.2 Relevancia Social

La investigación presenta relevancia social, ya que la satisfacción y seguridad de los usuarios de la vía depende de la conservación vial. Por

ello pretendemos reducir los costos de evaluación del pavimento con la finalidad de incrementar la conservación vial, ya que al haber fallas en el pavimento flexible ocasiona un sobre costo en el mantenimiento de los vehículos como también en el combustible, al tener que reducir la velocidad para evitar dañar al vehículo.

1.4.3 Utilidad Metodológica

La investigación nos dará una metodología de recolección de datos a través de encuestas y datos obtenidos del vuelo dron. Existen varios factores que inciden en la identificación de las fallas, que se alteran en un área de estudio a otra.

1.4.4 Valor Teórico

Se emplearán mapas temáticos a fin de la identificación de estado del pavimento de riesgo por accidentes y calidad de tránsito hacia los usuarios que son los más perjudicados. Asu vez lo valores de la investigación propuesta contribuirá a mejora continua del sistema de planificación integral en relación con mantenimiento vial, reduciendo en tiempo y costo la ejecución.

1.5 Importancia del estudio

1.5.1 Nuevos conocimientos

La importancia del estudio recae en la contribución social y profesional a la reducción de consecuencias negativas de fallas en el pavimento como los sobre costos en el mantenimiento de los vehículos, sobre costos en combustible o accidentes. Otras investigaciones similares, han encontrado los efectos que causan en los usuarios las fallas en el pavimento. Con respecto a sobre costos en mantenimiento de sus vehículos. Esperamos que el resultado de este análisis permita concientizar sobre la importancia de la conservación vial a tiempo para reducir los gastos tanto para las municipalidades como para los usuarios.

1.5.2 Aporte

El aporte de esta investigación es principalmente, el uso del método de fotogrametría aérea para dar a conocer a las empresas que se desarrollan en proyectos de conservación vial, un método más eficiente en la

evaluación de fallas del pavimento que a través de la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI), de las facultades de reducir los costos en la evaluación de las fallas en los pavimentos flexibles. Además, servirá como base de datos y procesamiento sistematizado para las próximas investigaciones sobre conservación vial.

1.6 Limitaciones

En el presente estudio se obtuvo escasa información técnica de esta avenida. En el área de estudio se puede notar la imprudencia de los conductores, asimismo la vía de estudio es considerada una zona con un elevado índice de peligrosidad delincuencial. Se tuvo que acordar horas puntuales para realizar la inspección.

1.7 Alcance

La investigación se basa en la implementación de un plan de diagnóstico de la vía elaborando mapas de PCI para reducir en tiempo y costo la conservación de pavimentos.

1.8 Viabilidad

Esta investigación es viable, porque nos permite reducir en tiempo y costo la conservación de pavimentos a través del plan de diagnóstico de la vía mediante la elaboración de mapas de PCI. Por eso resulta viable esta investigación porque brindaremos información para una base para posibles mejoras a través de la elaboración de mapas temáticos que se puedan realizar en el ámbito del mantenimiento vial.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Histórico

La observación y determinación de los distintos tipos de fallas que se puedan hallar en una vía, era de gran ayuda y evidencia para determinar el estado en que se encuentra. De este modo, se abren las puertas para lograr un sistema de administración del mantenimiento en pavimentos tanto rígidos como flexibles; ejecutándose entre los años 1974 y 1976 por tarea del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los EEUU y llevado a cabo por los ingenieros Mohamed Y. Shahin, Michael I. Darter y Starr D. Kohn, el método del Índice de Condición de Pavimento (PCI) (Kolbe, 2003).

El método de PCI, años después, ha sido suficientemente aceptado y formalmente adoptado como procedimiento estandarizado para la evaluación del estado de los pavimentos en aeropuertos, carreteras y estacionamientos; por diversas agencias como la Federal Aviation Administration (FAA 1982), el U.S. Department of Defence (U.S. Air Force 1981 y U.S Army 1982), la American Public Work Association (APWA 1984). Además, ha sido publicado por el ASTM como método y análisis de aplicación tanto en carreteras como en pavimentos aeroportuarios (ASTM D6433 y ASTM D5340, respectivamente).

Este método ha sido recomendado en el año 1982 también, mediante su Circular AC 150/5380-6 de 03/12/1982, denominada “Guidelines and Procedures for Maintenance for Airport Pavement”, teniendo un amplio manejo en los aeropuertos de EE.UU. En nuestro país, esta metodología se empleó por primera vez en el año 1990 a cargo del Ing. W. Gutiérrez Lazares en contrato por servicios para la entonces Unidad Ejecutora de Proyecto (UEP) con el objetivo de evaluar los puntos críticos de la carretera Panamericana Sur hasta La Concordia. El método brindó resultados tan cercanos a la realidad, consiguiendo determinar un mantenimiento adecuado, correcto y sin elevados costos, ratificando así su operatividad por parte del contratista (Cruz, 2018).

2.2 Investigaciones Relacionadas con el Tema

2.2.1 Investigaciones Internacionales

Ríos Cotazo, N (2020) Esta investigación propone estudiar alternativas para evaluar el estado del pavimento, por lo cual han sido desarrolladas un gran número de investigaciones sobre detección automática de fallas superficiales en pavimentos flexibles mediante técnicas de procesamiento de imágenes. Es oportuno el desarrollo de sistemas que aprovechen los atributos de distintos sensores en la adquisición de datos y que integren la detección y clasificación de fallas incluyendo datos de severidad. Del estudio de los distintos métodos, usados en la detección de fallas superficiales en pavimentos, se concluye que para la obtención de los datos de campo lo más adecuado es usar un sistema multisensorial que complemente las imágenes digitales con datos de profundidad. Respecto al procesamiento de los datos obtenidos, el aprendizaje profundo es la mejor técnica, al ser un área en desarrollo que brinda resultados satisfactorios.

Palacios Borja, (2019) El objetivo de la investigación es llevar a cabo un análisis comparativo de vehículos aéreos no tripulados que deje entender la importancia que tienen dichos vehículos para trabajos cartográficos. De modo que, este proyecto se realizó en un espacio de seis hectáreas ubicada en la finca Villa Mariana en la vereda espinalito Fusagasugá, con el propósito de realizar tres vuelos fotogramétricos en el lugar de estudio, se observó primero el estado del clima gracias a la aplicación “OK to Fly” para ver si las condiciones climatológicas eran convenientes en los días 13 y 14 de mayo del año 2021 para realizar los vuelos fotogramétricos. Las aeronaves empleadas para este proyecto fueron Phantom 4, Mavic 2 Enterprise Dual y Mavic pro. Fue necesario establecer el terreno y los días seleccionados para desarrollar la actividad, a partir del plan de vuelo creado mediante la aplicación “DroneDeploy”; su fácil manejo fue efectivo en el desarrollo de los planes de vuelo para cada uno de los drones, obteniendo un tiempo estimado del vuelo, cantidad de baterías a usar y el número de imágenes que se tomaron en el vuelo de cada aeronave que se empleó. Después de la recolección de datos obtenidos en campo se procede

a hacer el post proceso con la finalidad de deducir cuál de estas aeronaves obtuvo mejores resultados para trabajos fotogramétricos. De acuerdo a los post procesos realizados mediante Pix4d para cada uno de los vuelos, se obtiene que la mejor resolución por pixel encontrada es la del vuelo con el dron Mavic Pro, porque cuenta con un GSD de 1,89/0,74 cm/píxel, es decir, cuenta con un valor menor a los otros drones y el Phantom 4 tiene una pequeña desventaja respecto a los dos Mavic y esta es porque no posee sensores laterales ni sensor superior, esto afectará su capacidad de percibir información.

Fernández, A (2021) En los últimos años, los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) han adquirido diversas aplicaciones en la ingeniería civil, entre ellas la inspección de infraestructuras. El objetivo del presente artículo es comparar los ortomosaicos obtenidos en los programas Pix4Dmapper y Agisoft Photoscan, considerando los aspectos técnicos y el error en la detección de defectos en pavimento flexible. La metodología se desarrolló en tres etapas: selección de un tramo vial con deterioro, identificando seis defectos; toma de datos en campo y de forma digital (VANT), para la toma de datos de forma digital se consideró un horario (10 a.m.) y tres alturas (20, 30 y 40 m), y procesamiento digital de las imágenes en ambos programas. Los resultados muestran que la calidad de los ortomosaicos generados es semejante y, en la detección de errores, se reporta que no existe diferencias estadísticamente significativas entre las medias. Ambos programas proporcionan resultados similares y permiten la detección de defectos en pavimento flexible pero el programa Pix4Dmapper es más eficiente en tiempo de procesamiento y tamaño de archivo.

Cardoso Parente, D (2017) Esta investigación tuvo el propósito de desarrollar un procedimiento alternativo e innovador para identificar las manifestaciones patológicas superficiales en pavimento asfáltico de un tramo de vía identificado como TO-050, en Palmas - Tocantins. Como herramienta se utilizó un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), softwares para plano de vuelo y procesamiento de imágenes, mosaicos de ortofotos y Modelo Digital de Superficie (MDS) del área en estudio.

Mediante la interpretación visual de los productos generados, permitió identificar las fallas en su variedad cotejando datos obtenidos por medio de las imágenes con datos de inspecciones en sitio. Hay que resaltar que la inestabilidad del vehículo interfiere considerablemente en la calidad de las imágenes generadas aun cuando presenta un elevado potencial de reconocimiento de áreas comprometidas.

Peña, M (2020) El objetivo de este estudio fue evaluar las fallas superficiales presentes en un pavimento flexible de aproximadamente 500 m de longitud mediante el uso de VANT y demostrar la capacidad de las imágenes capturadas. La investigación es de tipo aplicada tecnológica y el enfoque que se utilizó fue cuantitativo. La metodología se centró en tres etapas: inicialmente, la planificación de la zona de estudio, luego la recolección y procesamiento de datos, para culminar con el análisis de resultados. La muestra de estudio fue aleatoria, con 13 tipos de baches y fisuras sobre el pavimento. Los datos se obtuvieron a una elevación de 40 m capturando imágenes cada 2 s. El procesamiento se hizo a través de un software fotogramétrico basado en el algoritmo SfM. Como consecuencia, se aprecia que la diferencia entre las mediciones visuales y las obtenidas por SIG oscila entre 0,17 y 5 cm. La desviación estándar del conjunto de muestras fue de 2,32 cm. Se demostró la capacidad de la imagen capturada con VANT para la extracción de distintas fallas superficiales. La fotogrametría aérea con dron genera una medición detallada y precisa de la ruta de la carretera y de la geometría del bache, y, por lo tanto, mejora la eficiencia del monitoreo del estado de la carretera.

2.2.2 Investigaciones Nacionales

Gonzales Aspilcueta, (2018) Este trabajo de investigación tiene como título “Herramientas geomáticas para el mantenimiento vial en la urb. Monterrico Norte - distrito San Borja - departamento y provincia de Lima”, se efectuó con el objetivo principal de emplear las herramientas geomáticas para sistematizar el índice de condición de pavimento y reconocer la serie de actividades para obtener el mantenimiento vial en la zona delimitada.

En esta investigación se realizó una inspección visual y medición de las fallas del pavimento rígido, encontrando distintas fallas (grieta de esquina, losa dividida, grieta lineal y otras). Se calculó el índice de condición de pavimento (PCI) e identificó los tipos de actividades en el mantenimiento vial, a través de la herramienta Network Analyst. Logramos recopilar una base de datos, mediante la sistematización del índice de condición de pavimentos (PCI), los costos y plan de desvío en la urbanización Monterrico Norte a través de la herramienta de la geomática de Network Analyst, para tener alcance de todo un sistema de información que sea de ayuda para la comunidad estudiantil y proponer mejores alternativas para el mantenimiento vial.

Cruz, J (2019) Esta investigación expone una metodología alternativa para la evaluación superficial de pavimentos en vías urbanas, empleando imágenes georreferenciadas, obtenidas por un vehículo aéreo no tripulado (VANT) que se procesan generando una ortofoto y un modelo digital 3D de alta resolución. El análisis de los productos generados permite la inspección total de la vía de manera segura, identificando el tipo de deterioro, su severidad y su densidad dañada, como parámetros e insumos para emplear el Método Pavement Condition Index (PCI). Los resultados que se obtienen en una vía de prueba, demuestran que el método VANT recoge datos de manera más segura, permite planos de mayor información con valores fidedignos y evita accidentes del personal técnico en comparación con el método tradicional. Esta investigación innova un procedimiento alternativo para evaluar pavimentos periódicamente con fines de establecer estrategias de mantenimiento y rehabilitación de las vías urbanas.

Lapa, J (2020) Esta investigación tiene como título, “sistematización de la información para mejorar la condición y conservación de la red vial vecinal”, tiene el objetivo de establecer una plataforma de sistematización de información del pavimento, empleando herramientas geomáticas para mejorar la condición y conservación de la red vial vecinal, determinar el índice de condición de pavimento (PCI) de las carreteras pavimentadas y no pavimentadas, determinar el tipo de mantenimiento según el estado de

condición y con ello proponer un Plan de Conservación Vial. Esta investigación se llevará a cabo en el distrito de Ate, en los sectores 25, 26 y 27, departamento de Lima, provincia de Lima. De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que se logró establecer una plataforma de sistematización de información utilizando herramientas geomáticas, ya que nuestra base de datos se basa solamente en la recolección de fotos georreferenciadas y medición de las fallas. Al obtener resultados satisfactorios en la sistematización de información se recomienda replicar esta sistematización, para todo el distrito bajo la misma metodología integrando toda la red vial vecinal del distrito.

Panduro, C (2020) Esta investigación consiste en la evaluación superficial del pavimento de la avenida Sebastián Lorente, en la Urbanización Barrios Altos, Distrito Cercado de Lima, Lima; mediante el método de índice de condición de pavimento (PCI), en el año 2020. Por lo que, la aplicación del procedimiento estándar Pavement Condition Index, nos permitirá determinar el grado de degradación o estado operacional del pavimento en esta avenida. La problemática que generó el desarrollo de esta investigación fue que tanto la vía en estudio y las vías colindantes no han tenido una evaluación previa a ser intervenidas en base a esta metodología, pese a la importancia de la vía. Además, que en el último periodo se ha visto incrementada la demanda y sobrecarga en esta avenida. Por ello, se siguió una secuencia de trabajo siendo la siguiente: Primero, se hizo la recolección de datos del pavimento, con la obtención de valores se establece el tipo y la severidad de cada una de las fallas que presente la unidad de estudio; Luego, se procede a hallar el valor del PCI en cada una de las 27 unidades de Muestra que comprenden a lo largo de la vía de 1025 metros, obteniendo de esta manera el valor de PCI que equivale a 74, clasificándose con una condición de operación de Muy Bueno.

Quispe, O (2020) El objetivo del estudio es evaluar la confiabilidad de utilizar el Dron Modelo Phantom 4 Pro V 2.0 para hallar el Índice de Condición del Pavimento (PCI) en la Av. Miraflores del Distrito de Comas, Lima – 2020. Para lograr dicho objetivo se hace una comparación de resultados cuantitativos de PCI desde los datos obtenidos de las fallas

identificadas en el pavimento de forma directa utilizando odómetro y de forma indirecta empleando el Dron Modelo Phantom 4 Pro V2.0. En esta investigación se determinó 33 Unidades de Muestrales (UM) según la guía de la metodología para el cálculo de PCI. El vuelo del dron permitió obtener imágenes de la vía asfaltada, posteriormente se desarrolló el procesamiento fotogramétrico. Para procedimiento de relevamiento de fallas de forma directa se cerró parcialmente la vía para completar el formato por cada Unidad Muestral. En el caso del procedimiento de relevamiento de fallas de las Unidades Muestrales de forma directa en la vía, se indica que presenta valores de PCI de 3 (Estado Colapsado) a 83 (Estado Regular). Considerando los valores obtenidos con el procedimiento del dron, se registran resultados de PCI de 8 (Estado Colapsado) a 89 (Estado Excelente). Al comparar ambos procedimientos se puede indicar que existe variación absoluta en un rango 1 a 13 por cada Unidad Muestral, esto indica que en algunos sectores de la zona de estudio no hay variación significativa del Estado resultante del pavimento considerando ambos métodos. Se concluye que en la Av. Miraflores presenta un PCI ponderado de 50 utilizando el procedimiento con dron y un PCI 49 utilizando el registro de fallas de forma directa. Ambos resultados indican un estado Regular Promedio del pavimento en la zona de estudio.

2.3 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.3.1 Generalidades

En los años 1960 a 1962, la American Association State Highway Officials realizó algunas pruebas, cuyas finalidades más importantes fueron las de definir en que consiste la falla de un pavimento y de relacionar las variables de diseño como son tránsito, clima, materiales, etc. con el comportamiento del propio pavimento. Fue así como se estableció el principio de que la función básica del pavimento la constituye el permitir un tránsito adecuado de vehículos sobre la carretera.

Las fallas en los pavimentos las originan, las acciones que ejercen directa o indirectamente sobre ellos, los factores siguientes: La repetición de las

cargas, los agentes del clima, el peso propio de las capas que constituyen la estructura conjunta de la obra.

Las fallas se inician o se producen en los puntos débiles o deficientes de alguna de las partes fundamentales de la estructura general de la carretera, los cuales no pueden soportar eficientemente los efectos destructivos de alguno o varios de los factores señalados anteriormente, convirtiendo zonas potenciales de falla, la consecuencia de diseños inadecuados, mala calidad de los materiales utilizados, procedimientos de construcción defectuosos, falta de una conservación eficaz y oportuna, etc., de tal manera que las fallas en los pavimentos pueden tener su origen en el terreno de cimentación, en las terracerías, en las obras de drenaje o en los elementos constitutivos del propio pavimento.

2.3.2 Definición de pavimento

El pavimento es una estructura vial construida sobre la subrasante de la plataforma, para resistir y distribuir las cargas originados por los vehículos y dar una mejoraría a las condiciones de seguridad y comodidad para el usuario. Las capas que conforman un pavimento son: la sub base, la base y la carpeta asfáltica.



Figura 2: Partes de un pavimento

Fuente: Elaboración propia.

- a) Carpeta Asfáltica: Es la parte superior de un pavimento, este es colocado sobre la parte superior de la base, que puede ser de concreto cemento Portland (rígido), de tipo bituminoso (flexible) o de

adoquines, asumiendo como función poder sostener directamente el peso de tránsito de vehículos.

- b) Base: Es aquella capa que se ubica por debajo de la carpeta asfáltica, que tiene como fin hacer los trabajos de sostener, distribuir y transmitir las cargas generadas por el tránsito. Esta capa está conformada por material granular drenante CBR $\geq 80\%$. Si no se cumple con el CBR indicado será tratada aplicando el asfalto, el cemento o cal.
- c) Subbase: Está conformada por una capa de material seleccionado y con un espesor acorde con el diseño, el cual soporta el peso de la base y a la carpeta asfáltica. Su función principal es el drenaje. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede ser obviada. Esta capa está conformada por material granular que debe tener un CBR $\geq 40\%$ o tratada con asfalto, cemento o cal.

Según AASHTO (1993) posee dos perspectivas para detallar un pavimento: el de Usuario y el de la Ingeniería. Según el criterio del usuario, el pavimento es un conjunto de capas de material seleccionado, que perciben la carga vehicular y las transmite a las capas inferiores de forma disipada, prestando una superficie de rodamiento, el cual debe trabajar correctamente para brindar seguridad y comodidad cuando el vehículo circula sobre ella.

Para la Ingeniería el pavimento es un componente estructural que está sostenido en toda su dimensión sobre el material de fundación denominado subrasante. La carpeta asfáltica debe estar diseñada para soportar un conjunto de capas de diferentes espesores, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado periodo de tiempo causado durante el tránsito vehicular. De igual manera el pavimento se puede definir como: Una estructura sometida a cargas externas generadas por el tránsito vehicular que producen esfuerzos y deformaciones en las capas conformadas. El tipo de pavimento depende de la función a desempeñar y de los esfuerzos que afectan durante el ciclo de servicio para el cual se realiza el diseño estructural de las capas del pavimento.

2.3.3 Clasificación del pavimento

Debido a la elaboración y paquete estructural para las diferentes distribuciones de cargas a la que se pueda ver mostrada el pavimento se dividen en tres:

- a) Pavimento flexible: Son las estructuras que contienen una carpeta de rodamiento elaborada de cemento asfáltico, soportado sobre la subbase y base granular, las cuales no son rígidas. Según (Montejo, 2002), establece que es posible prescindir de estas capas mencionadas de acuerdo a la necesidad particular que se solicite en la obra. Una característica de este pavimento, es su alta flexibilidad de la carpeta asfáltica, además cuenta con la capacidad de deformarse sin llegar a la rotura, la acción de carga de tránsito en la superficie de los pavimentos flexibles es concentrada, pues la presión empieza a reducir en el paso de ésta, a través de los espesores de las capas subyacentes, al punto de dividirlo y aminorarlo en la subrasante.
- b) Pavimento rígido: Estos contienen una carpeta de rodadura formada por una losa de concreto hidráulico. La superficie de rodadura al ser rígida, sobre ella se distribuye de manera conveniente las cargas generadas por los vehículos, por lo que requieren entre la superficie de rodadura y la subrasante, menos capas granulares. Los pavimentos rígidos no tienen la necesidad de depender de una base granular que produzca un aporte de resistencia ante las cargas vehiculares, solo se requiere una subbase para una mayor homogeneidad, ya que la losa de concreto tiene la capacidad de resistir dichas cargas. Por consiguiente, para un apropiado diseño de este pavimento se deben establecer las cargas y establecer cuál es la condición climática que formen esfuerzos en las losas. (Conza, 2016).

Además de los tipos de pavimentos ilustrados en la Figura 1, también se muestran los pavimentos del tipo semi rígido y articulado, los pavimentos mixtos tienen solo una diferencia con los pavimentos flexibles, y es que los pavimentos mixtos enseñan una capa rígida pero rigidizada de modo artificial, que puede ser con cal, cemento, aditivos y/u otros materiales químicos, dicha variación se lleva a cabo con el fin de cambiar, modificar

y corregir aquellas características mecánicas propia de los materiales de la zona, no considerados apto para el diseño y la construcción.

2.3.4 Componentes estructurales de los pavimentos

El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la manera cómo se reparten las cargas.

En los pavimentos flexibles las cargas ejercidas por acción de un vehículo se distribuyen en toda la estructura que conforma esta, las capas más próximas a las cargas deben ser los de mejor calidad, debido a que las cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores, los pavimentos flexibles son de menor rigidez por consiguiente su deformación es mayor con respecto a los pavimentos rígidos.

Por su parte en los pavimentos rígidos la capa que recibe la mayor carga es la losa, las capas inferiores son casi nulas en la precisión de las cargas.

La distribución de las cargas en los pavimentos rígidos es uniforme debido a la rigidez de la losa.

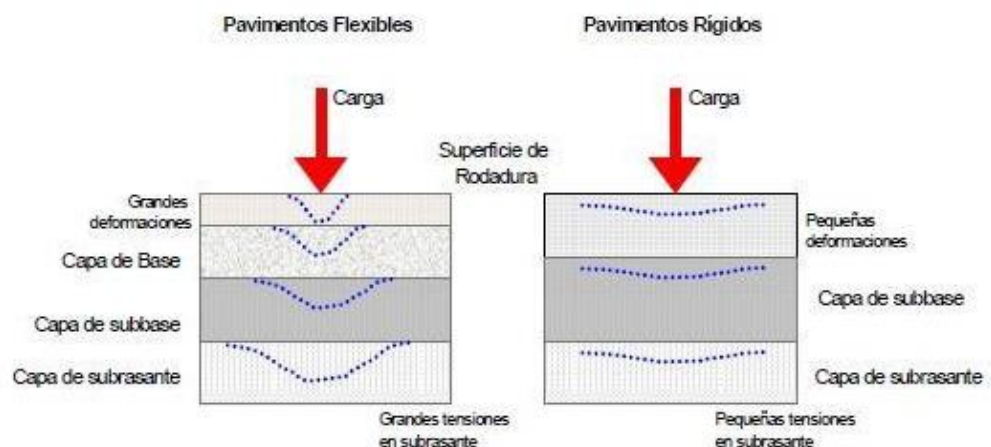


Figura 3: Comportamiento de los tipos de pavimento
Fuente: Elaboración propia.

2.3.5 Etapa en los pavimentos

“Los pavimentos antes, durante y después de su vida de servicio, enfrentan diferentes criterios que permiten comprender a qué están sujetos. Estas etapas están referidas a la construcción, rehabilitación y mantenimiento” (Leguía Loarte & Pacheco Risco, 2016).

2.3.6 Diseño y construcción

El Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial a través de la sección Suelos y Pavimentos del Manual del MTC Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos ha elegido considerar en forma oficial la aplicación del Método Guía AASHTO 93 para obtener el dimensionamiento de las secciones del pavimento de carreteras.

Típicamente el diseño de los pavimentos es mayormente influenciado por dos parámetros básicos:

- Las cargas de tráfico vehicular impuesta al pavimento.
- Las características de la subrasante sobre la que se asienta el pavimento.

La fase de diseño y construcción de una infraestructura vial alcanza todas las actividades primordiales para la ejecución y poner al servicio una infraestructura vial, los cuales contienen la obtención de los recursos necesarios, la ejecución de obras viales, instalación de equipos y otros de índole primordial. Las etapas primordiales para la construcción del pavimento son los trabajos hechos en campo, recopilación de información detallada y relevantes, esta fase comprende tener los datos disponibles, estudios de tráfico, la calidad de los materiales y otros datos necesarios para el pertinente diseño del pavimento.

Antes de emplear la metodología y tomar decisiones a utilizar en un proyecto hay que tener en cuenta la calidad de los materiales disponibles, la cantidad y calidad de canteras, la evaluación de las subrasantes haciendo las calicatas correspondientes, la elección de fuentes de agua, hacer los ensayos pertinentes en los laboratorios, los trabajos de topografía, la condición del pavimento, la ubicación de puntos críticos y entre otros.

Luego de los trabajos realizados, se procede hacer el respectivo diseño el cual consiste en elegir el adecuado espesor de las capas y características de los materiales para la distribución de las cargas. Una vez obtenido todo el dato, se procede a la ejecución del pavimento.

2.3.7 Mantenimiento

Trabajos únicamente de conservación y mantenimiento para una apropiada funcionalidad y dar la seguridad pertinente al usuario. Son los trabajos a fin de asegurar la satisfacción del usuario y brindar la calidad de servicio al cliente, el mantenimiento.

Se divide en:

- Mantenimiento periódico.
 - Mantenimiento rutinario.
 - Mantenimiento de emergencia
- a) Mantenimiento rutinario: Son actividades permanentes y con frecuencia que se realizan con el propósito de perdurar generalmente la condición superficial y funcional de la estructura vial con la finalidad de contribuir y así cumplir con la vida útil para lo cual fue diseñado. Sin afectar en la capacidad estructural del pavimento.
 - b) Mantenimiento periódico: Actividades temporales de trabajos mayores de menor frecuencia y de carácter preventivo, la ejecución se lleva a cabo de acuerdo con su programación preestablecida. A fin de dar las condiciones de seguridad y funcionalidad al usuario.
 - c) Mantenimiento de emergencia: Podemos decir que comprenden trabajos de renovación (agregar una capa adicional al pavimento conocido como recapeo) y tratamiento de la superficie de rodadura (Trabajos de reestablecer las características superficiales del pavimento).

2.3.8 Rehabilitación

Trabajos importantes para poder recuperar las condiciones iniciales en la construcción de la estructura vial, también devolver a sus niveles de servicio en términos de seguridad y comodidad para los usuarios.

Proyectos que intervienen como consecuencia de la identificación de deficiencias y problemas en la superficie del pavimento, como aspectos de funcionalidad, seguridad en sectores de la vía, con la única finalidad de dar solución, con la remoción parcial o total de la estructura existente.

En comparación al mejoramiento la rehabilitación no implica mejorar los estándares de la estructura vial. Pero si implica el reforzamiento de la carpeta para resistir ascendentes cantidades de tránsito proyectados a futuro.

Una estructura vial presenta una rehabilitación superficial y una rehabilitación estructural. La rehabilitación superficial resuelve problemas en la capa superior de la infraestructura vial, la rehabilitación estructural es encaminada a la reconstrucción total de la estructura vial, es una composición entre la rehabilitación y mejoramiento de la vía.

2.3.9 Fotogrametría

La palabra fotogrametría etimológicamente proviene del griego “fhotós”, luz; “gramma”, escribir; “metrón”, medir. Su significado es “la medida del escrito por la luz”. La sociedad americana de fotogrametría y teledetección (ASPRS) detalla que: “La fotogrametría es la ciencia, tecnología y arte de conseguir información fiel acerca de objetos físicos y su entorno a través de procesos de registro medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante entre otros fenómenos”. Se sabe que, en un principio, ambas interpretaciones se justificaban en analizar fotografías y que, con el pasar del tiempo, ha abierto camino a otro tipo de sensores, por ejemplo, están las imágenes digitales, láser, acústica, radar, etc. Por encima de algunas contradicciones, los estudios determinan que la fotografía es la principal fuente de información en sus dos tipos de versiones (digital y analógica).

La fotogrametría, tiene dos ámbitos diferentes: cuantitativo y cualitativo. El estudio cuantitativo viene siendo encargada por la fotogrametría métrica, aquí se hace mención al “cómo es”, “dónde está” y “cuanto mide los objetos que muestra la fotografía”. Este enfoque se basa en la obtención de información métrica de las formas generadas a partir de medidas

concisas en las fotografías. Los resultados en esta área de la fotogrametría son: Ortomosaicos, Modelos Digitales del Terreno (MDT), etc.

Las fotografías se hacen de manera aérea con mucha frecuencia, sin embargo, cabe resaltar que también es posible usar unidades móviles y satelitales. Por el lado cualitativo, se enfoca en la fotogrametría interpretativa y hace mención al “que es lo que muestran en la fotografía”. Pretende examinar e identificar los objetos que aparecen en la fotografía (pancromática, multiespectral o infrarroja), a través de un estudio que se basa en indicios y pericia del operador. En este sentido, se estaría hablando de la “fotointerpretación”. Cuando el análisis se realiza con el apoyo de aplicaciones informáticas, se trata de “Teledetección”.

La fotogrametría según la ubicación del sistema de captura de datos, puede ser aérea si el sensor va equipado en una aeronave. Esencialmente es esta la aplicación más utilizada en el campo de la fotogrametría cuyo objeto es la generación de mapas y planos topográficos. Cuando el sensor se ubica en un vehículo fijo en el terreno se le designa fotogrametría terrestre, sin embargo, el objetivo sigue siendo el mismo.

Finalmente, se encuentra la fotogrametría de objeto cercano. En este caso el propósito no es la adquisición de cartografía terrestre, sino la de producir productos no cartográficos para cualquier elemento que se ubique sobre la misma Aguirre de Mata, J, (2016).

2.3.10 Dron – Vehículo aéreo no tripulado (UAV)

El dron es un vehículo aéreo no tripulado (UAV) que es manejado por control remoto. Debido a su disponibilidad y bajo costo se ha logrado excelentes resultados en fotogrametría. Anteriormente el uso del dron, era exclusivamente de uso militar, en la actualidad es usado por distintos profesionales. Considerando que el uso de drones está regido por las leyes que existen en cada País, en el Perú están sujetos a las normas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, en la dirección de aeronáutica.

2.3.11 Tipos de Drones

- a) Drones de ala fija: Este tipo de drones tienen similitud con los aviones, principalmente son de uso militar, por sus características tienen mayor alcance, son más grandes, baterías para mayor tiempo de uso, su desventaja es que no pueden realizar el despegue y posterior aterrizaje de forma autónoma, necesitando de elementos externos. Su nivel de maniobra es mucho menor, lo que les dificulta realizar trabajos en zonas de mayor complejidad.
- b) Drones de ala rotatoria: Son los drones que sus alas giran alrededor de un eje, por la cantidad de alas estas, pueden ser clasificadas en: con un rotor, con dos rotores en forma coaxial, o multi rotores (tricoptero, quadcoptero, hexacoptero, octacoptero). Este tipo de drones usan hélices para su despegue, y posterior aterrizaje en forma vertical, sus hélices son de ángulo fijo. Por sus características son de mayor maniobrabilidad, por consiguiente, se pueden utilizar para trabajos que requieren mayor precisión, ya que la estabilidad y equilibrio que proporciona sus rotores, generan excelentes fotografías.

Cómo son capaces de volar a alturas muy bajas, nos proporcionan fotografías de mayor resolución (nitidez). Una de sus desventajas es que, debido a utilizar mayor energía para el funcionamiento de sus rotores, estos drones consumen mayor cantidad de batería, limitando así el tiempo de vuelo del dron. Esto se puede prevenir teniendo a la mano dos o tres baterías adicionales para el dron Regner, (2019).

2.3.12 Metodología de Índice de Condición de Pavimento (PCI)

Este método establece la manera más completa para la inspección, evaluación y calificación objetiva, además de ser avalado y publicado por la norma ASTM como procedimiento para la inspección de condición superficial de caminos y estacionamientos, asimismo de ser estandarizado como procedimiento más utilizado por importantes agencias como la American Public Work Association (APWA).

El manual del PCI nos muestra el procedimiento para calcular el índice de Condición, el cual consta de un valor en la escala de cien (100) para un pavimento con un nivel de operación de excelente a el valor de cero (0),

para la clasificación de muy malo; tal como nos muestra la Tabla 1, el rango de clasificación para cada intervalo.

Tabla 1:
Índice de condición del pavimento, según rangos de clasificación (PCI)

Clasificación	Rango
Fallado	10 a 0
Muy malo	25 a 10
Malo	40 a 25
Regular	55 a 40
Bueno	70 a 55
Muy bueno	85 a 70
Excelente	100 a 85

Fuente: ASTM D643, (1999).

El índice del PCI tiene limitaciones tal como lo menciona ASTM, pues no logra determinar la condición y capacidad estructural del pavimento; como tampoco parámetros de resistencia a fricción o el coeficiente de rugosidad (ASTM, 2007). A partir de la inspección visual es que se realiza la evaluación de la carpeta asfáltica de la vía en estudio, se determina el tipo de falla, severidad y el metrado presente en la superficie de la unidad de estudio.

Cabe resaltar que el método muestra los VD (valores deducidos) a fin de identificar la longitud de muestra según ancho de vía y el nivel de incidencia que se presenta para cada combinación de los parámetros anteriormente mencionados en el pavimento (Tacza & Rodriguez, 2018).

2.3.13 Serviciabilidad de los pavimentos

La serviciabilidad de los pavimentos, es aquella apreciación que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento. Es por eso que la opinión de ellos es la que debe ser medida para calificar la serviciabilidad.

La medición de la serviciabilidad de los pavimentos, también puede ser vista como una evaluación de la superficie, pero debemos tener presente que no es una evaluación completa.

La serviciabilidad de los pavimentos ha sido representada en un índice, derivado de los resultados de la prueba AASHO, en donde se realiza la evaluación mediante una escala que varía de 0 a 5, siendo 5 el valor para pavimentos con una superficie perfecta y 0 para un pavimento con una superficie en malas condiciones.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra la escala de calificación de la serviciabilidad según la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official):

Tabla 2
Escala de calificación de Serviciabilidad según AASHTO

Calificación		Descripción
Numérica	Verbal	
5.0 – 4.0	Muy buena	Solo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son lo suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en su categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasifican como muy buenos
4.0 – 3.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los “Muy buenos”, entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un nivel de deterioro superficial, como desconches y fisuras menores
3.0 – 2.0	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamientos, parches y agrietamiento.

2.0 – 1.0	Mala	<p>Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamientos, escalonamiento y pumping. Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad del tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamientos; y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconchado de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.</p> <p>Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie</p>
1.0 – 0	Muy mala	

Fuente: AASHTO (1962).

2.3.14 Evaluación de Pavimentos

Los pavimentos son estructuras diseñadas para brindarle al usuario seguridad y comodidad al conducir, esto quiere decir que el camino debe entregar un nivel de servicio de acuerdo a la demanda solicitada.

La evaluación de pavimentos consta de un informe, donde se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo, para de este modo poder acoger las medidas apropiadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se busca alargar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de gran relevancia escoger y realizar una evaluación que sea objetiva y conforme al medio en que se encuentre.

2.3.15 Importancia de Evaluación de Pavimentos

La evaluación de pavimentos es crucial, pues permitirá conocer a tiempo, los deterioros presentes en la superficie, y de esta forma poder ejercer las correcciones, obteniendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima. Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se pronosticará el nivel de vida de una red o un proyecto.

La evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se extiende su vida de servicio ahorrando de este modo, gastos mayores.

2.3.16 Objetividad en la Evaluación de Pavimentos

La objetividad en la evaluación de pavimentos juega un papel fundamental, ya que se necesitan personas verdaderamente preparadas para que realicen las evaluaciones, de no ser así, dichas pruebas pueden perder confiabilidad con el tiempo y no podrán ser comparadas, además, es de suma importancia que se escoja un modelo de evaluación que se haya estandarizado para poder afirmar que se ha realizado una evaluación verdaderamente objetiva. No siempre se pueden adquirir mediciones o índices que cumplan con la condición para confrontar dos proyectos debido al sesgo intrínseco de la toma de decisiones, provocando una desviación entre la realidad y lo expresado por las muestras.

La desviación ocurrida puede deberse a dos causas principales. Variabilidad de las unidades, esto se debe a que las unidades son la base para los análisis que se realizan.

2.3.17 Curva de Comportamiento de los Pavimentos

La curva de comportamiento de los pavimentos es aquella representación histórica de la calidad del pavimento. Para poder analizar el comportamiento funcional del pavimento se requiere información de calidad de rodadura dentro del periodo de estudio y de los datos históricos del tránsito que se han solicitado al pavimento durante ese periodo.

Con la ayuda del índice de serviciabilidad o el índice de condición de un pavimento versus el tiempo o el número de ejes equivalentes, se puede graficar la degradación del pavimento, obteniendo de esta manera visualizar el tiempo en el que un pavimento requerirá una rehabilitación, logrando con esto incrementar la vida útil del pavimento.

En conclusión podemos decir que la curva de comportamiento de los pavimentos es la representación de calidad del pavimento durante el tiempo, la cual se construye con ayuda del índice de serviciabilidad o el índice de condición de un pavimento versus el tiempo o el

número de ejes equivalentes, esta gráfica ilustra la degradación de un pavimento, consiguiendo de esta forma visualizar el tiempo en el cual el pavimento necesitará ser repotenciado o rehabilitado.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la curva.

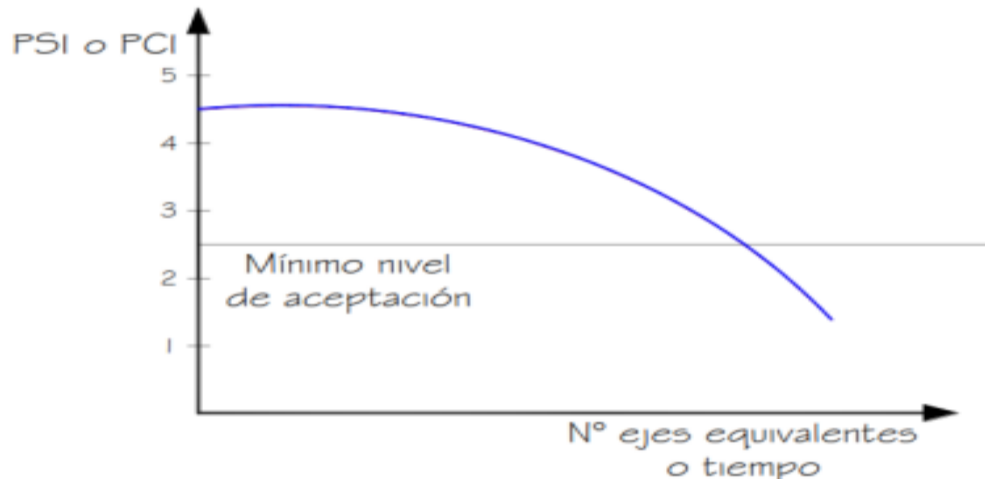


Figura 4: Curva de comportamiento de los pavimentos.

Fuente: Evaluación superficial de algunas calles de la ciudad Loja (2009)

En el gráfico anterior se visualiza el comportamiento de un pavimento en función del tiempo o del número de ejes equivalentes al cual está expuesto; a través de esta representación se podrá tener medidas convenientes, las cuales permitirán aumentar la vida útil de un pavimento.

2.3.18 Fallas en pavimentos flexibles

(Edgar Daniel Rodríguez Velásquez (2009), en su tesis para lograr obtener el grado de Ingeniero Civil, “Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla”) Nos dice que las fallas son el efecto de interacciones complejas de diseño, materiales, construcción, tránsito vehicular y medio ambiente.

Estos factores combinados, son el motivo del deterioro progresivo del pavimento, situación que empeora, al no darle un mantenimiento apropiado a la vía. Hay dos tipos de fallas: las estructurales y las funcionales.

Las primeras, son las que originan un deterioro en el paquete estructural del pavimento, reduciendo la cohesión de las capas y dañando su comportamiento frente a cargas externas.

Las fallas funcionales, por otro lado, afectan la transitabilidad, es decir, la calidad aceptable de la superficie de rodadura, la estética de la pista y la seguridad que ofrece al usuario.

Siguiendo la norma ASTM D6433-03 nos da a conocer los diferentes tipos de fallas en pavimento flexible:

- a) Piel de cocodrilo: Son grietas interconectadas constituyendo polígonos de un tamaño que no supera los 0.5 m de longitud en el lado más largo; tienen una forma bastante similar a una piel de cocodrilo o una malla. Esta fisura tiene procedencia en la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo la repetición de las cargas del tráfico, dando así inicio al agrietamiento en la base estabilizada, la cual recibe mayor carga, y se propaga hasta la superficie. También, se desarrolla por un pavimento sobre subrasantes elásticas, tráfico numeroso para el espesor que tiene el pavimento, asfalto con cantidad defectuoso o muy duro y la falta de adherencia. Es muy usual que la piel de cocodrilo se encuentre acompañada por ahuellamiento.



Figura 5: Piel de cocodrilo – Alta severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- b) Fisuras en bloques: Grietas interconectadas que fragmentan el pavimento en pedazos casi rectangulares, su tamaño alterna de 0.30 m x 0.30 m a 3.0 m x 3.0 m. Su origen principal se debe a la contracción del concreto asfáltico y ciclos de temperatura diarios. Además, el asfalto se endurece notablemente debido a que este tipo de falla no está afecto a cargas, siendo esta la principal diferencia con las grietas de piel de cocodrilo. Generalmente esta fisura aparece en una gran parte del pavimento y otras únicamente en áreas sin tráfico.



Figura 6: Fisuras en bloques – Alta severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- c) Fisuras de borde: Son grietas continuas, casi longitudinales, se presentan próximo al borde de la calzada o en las bermas. Estas fisuras se ocasionan por huella de inestabilidad del talud, la abertura de una junta de ampliación de la calzada por asentamiento de la zona aumentada, carril muy ajustado que obliga que el tránsito se propague cerca al borde de la capa de rodadura, permutaciones volumétricas de los suelos de subrasante por formaciones temporales de humedad y faltas de drenaje.



Figura 7: Fisuras de borde – Alta severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- d) Fisuras de reflexión de junta: Únicamente se da en pavimentos con una superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Portland. Estos daños no poseen relación con las cargas, pero estas pueden originar la rotura del concreto asfáltico próximo a la grieta. Dichas fisuras se originan debido al desplazamiento de la losa de concreto de cemento Portland, provocado por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico.

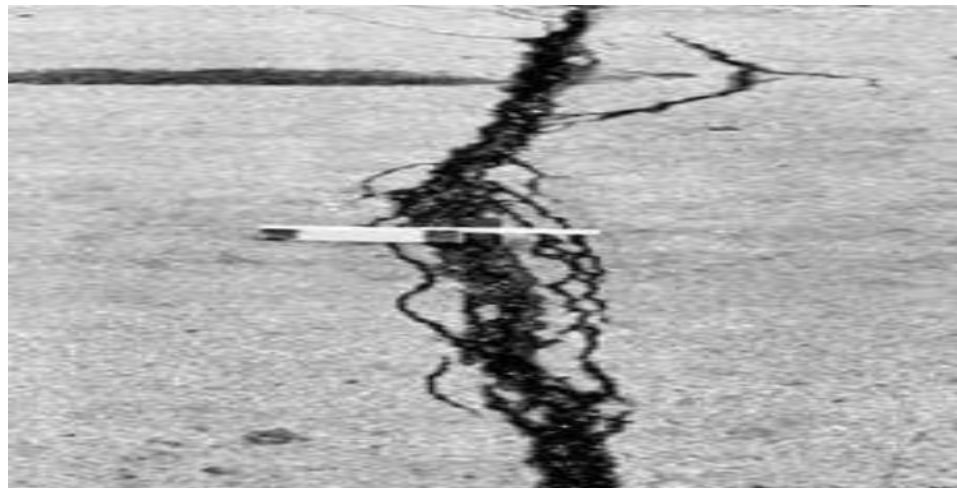


Figura 8: Fisuras de reflexión de junta – Alta severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- e) Fisuras longitudinales y transversales: Cuando se hallan estas fisuras es una señal que están presentes los esfuerzos de tensión en alguna capa de la estructura del pavimento, en donde han sido superadas las

resistencias del material afectado. Esta se da en discontinuidad de la carpeta asfáltica en dirección transversal al tráfico. Las fisuras longitudinales se encuentran agrupadas a las cargas de tránsito, mientras que las transversales no. Las posibles causas para que se presente esta falla son las siguientes: fatiga de la estructura, la capa de la rodadura tiene un bajo espesor, mezcla asfáltica muy rígida, envejecimiento del asfalto, bajas o altas temperaturas.



Figura 9: Fisuras longitudinal y transversal – Alta severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- f) Fisuras parabólicas o por deslizamiento: Inducidas por el frenado, el giro o circulación a muy baja velocidad de ruedas pesadas, que crean deslizar y distorsionar la capa superior del pavimento asfáltico. Muestran una forma de media luna creciente y se hallan donde existen mezclas asfálticas de baja consistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura del pavimento. Este daño no posee relación con la inestabilidad geotécnica de la calzada.



Figura 10: Fisuras parabólica o por deslizamiento– Alta severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- g) Abultamientos y hundimientos: Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba en la carpeta asfáltica, originados por factores de levantamiento de losas de concreto que ha sido cubierto por una carpeta asfáltica, expansión por congelamiento, infiltración, elevación de material en una grieta por combinación de cargas de tráfico, deficiencia de drenaje en el paquete estructural, presencia de suelos expansivos. Por otro lado, los hundimientos son desplazamientos hacia abajo de forma abrupta.



Figura 11: Abultamiento y hundimiento.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- h) **Corrugación:** Es una serie de cimas y depresiones que se dan en intervalos regulados, normalmente a menos de 3.0 m. Dichas cimas son perpendiculares a la dirección del tráfico. Este tipo de falla es a causa de acciones del tráfico más una carpeta o base inestable. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3 m de separación entre ellos, el daño se designará como corrugación.

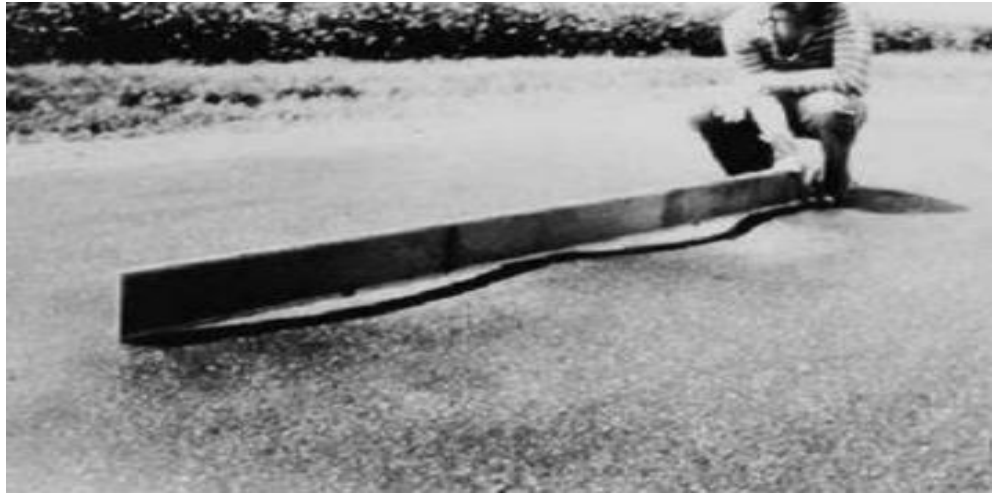


Figura 12: Corrugación – Alta Severidad.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- i) **Depresión:** Formada comúnmente por el asentamiento de la subrasante o son el resultado de procedimientos constructivos defectuosos en las capas superiores del pavimento. Son sectores o áreas con niveles más bajos que el pavimento que se encuentra a su alrededor y llegan a ser visibles después de la lluvia, donde el agua se estanca y forma pequeños charcos, dejando manchas cuando la superficie se seca.

También estas fallas pueden crear alguna rugosidad en la superficie y si son profundas o están llenas de agua pueden causar hidropneumático, donde se pierde adherencia entre la rueda y el pavimento.

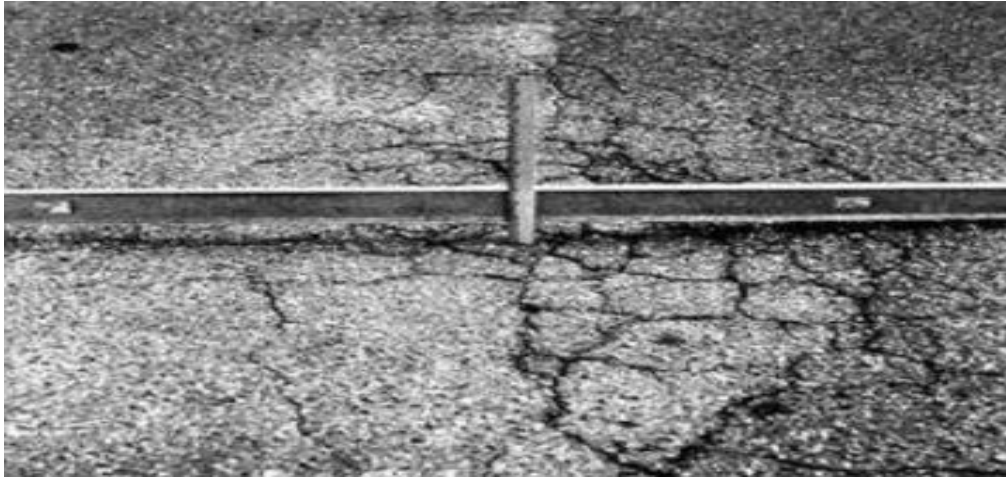


Figura 13: Depresión – Alta Severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- j) Ahuellamiento: Depresión superficial en la banda de rodamiento, lo que hace que se creen levantamientos en las zonas adyacentes. Son causadas por: insuficiencia en la compactación en el desarrollo de la construcción, deformación estable de las capas del pavimento o subrasante (por la consolidación o movimiento lateral de los materiales), por las cargas de tránsito, altas temperaturas y por alteración plástica de la mezcla asfáltica. Un ahuellamiento significativo puede trasladar a una falla estructural considerable del pavimento.



Figura 14: Ahuellamiento – Alta Severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- k) Desplazamiento: Esta falla normalmente ocurre en pavimentos con mezclas asfálticas inestables (emulsiones). Es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento causada por acción de la carga de tráfico, desplazamiento de mezcla, causando una onda corta y brusca en esta superficie, desplazamientos asfálticos que confinan pavimentos rígidos, exceso de asfalto, una adherencia inapropiada por escasez en el riego de liga, entre otros.



Figura 15: Desplazamiento – Alta Severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- l) Hinchamiento: Es un pandeo hacia arriba de la superficie de los pavimentos con una amplia onda y gradual con una longitud que supera los 3.0 m. Esta falla puede estar o ir de la mano de agrietamiento superficial expansivo. Comúnmente este daño es ocasionado por el congelamiento en la subrasante o por presencia de suelos expansivos.



Figura 16: Hinchamiento.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- m) Baches: Los baches son pequeñas depresiones, que usualmente son diámetros menores a 0.90 m y con forma de tazón. Esta falla llega a generarse cuando el tráfico arranca pequeños segmentos de la superficie asfáltica y su crecimiento se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Con frecuencia los baches son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento.

Cuando los baches son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como baches. Otros factores que llegan a producir estas depresiones, son por defectos constructivos, subdrenajes inadecuados y un mal diseño del paquete estructural.



Figura 17: Bache – Alta Severidad.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- n) Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados: Es la desintegración del pavimento como resultado de la pérdida del ligante asfáltico, causando así el desprendimiento de los agregados pétreos de la carpeta. Los principales factores que provocan este tipo de falla son:
- Mezcla de baja calidad con ligante insuficiente.
 - Uso de agregados sucios o muy absorbentes.
 - Ablandamiento de superficie y pérdida de agregado debido al derrame de aceite de los vehículos.

- Falla de adherencia agregado-asfalto debido a la acción del tránsito y clima.



Figura 18: Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados. – Alta Severidad.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- o) Exudación: La exudación se presenta como una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, donde se produce un afloramiento o película formando una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa durante un tiempo cálido. Esto es ocasionado por el exceso de asfalto en el diseño de mezcla, por el exceso de aplicación de un sellante bituminoso o por un bajo contenido de vacíos de aire, y sucede cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y se expande en toda la superficie. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante climas fríos, el asfalto se acumulará en la superficie.



Figura 19: Exudación – Alta Severidad.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- p) Desnivel carril-berma: Esta falla es representada por el desnivel existente entre el borde del carril y la berma. Esto es provocado por la erosión de la berma, el asentamiento de la berma o la colocación de nuevas carpetas en la calzada sin ajustar apropiadamente la berma.



Figura 20: Desnivel Carril-Berma – Alta Severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- q) Agregado Pulido: Esta falla es causada por repeticiones de carga de tráfico. El agregado pulido existe cuando una evaluación exhaustiva del pavimento revela que la porción de agregado que se extiende sobre el asfalto es muy pequeña, o no existe aspereza o partículas de agregado angular que proporcionen buena resistencia al deslizamiento. El agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas de los vehículos se ha reducido considerablemente.

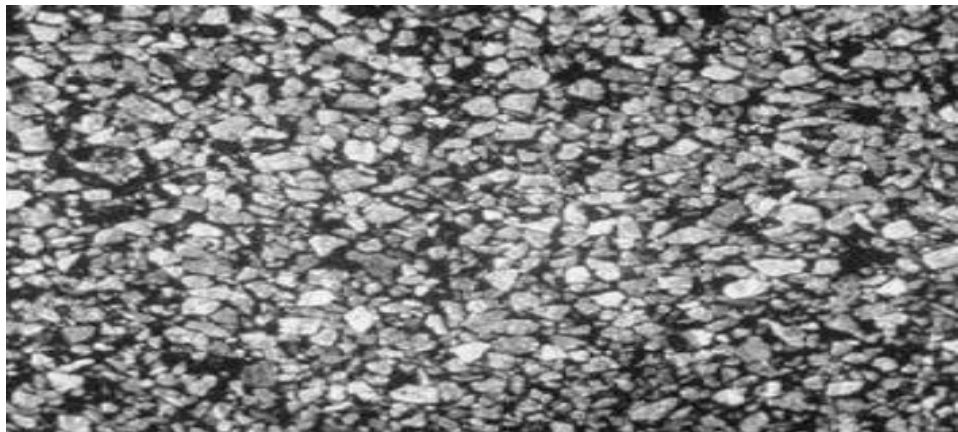


Figura 21: Agregado Pulido.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- r) Parches y parches de cortes utilitarios: Es un área en el pavimento que ha sido reemplazada por material nuevo para reparar el pavimento existente. Es un defecto para el pavimento ya que no se halla en las mismas condiciones que el pavimento original. Estos parches consiguen ser por alguna falla existente o por algún corte utilitario, que hace referencia a las reparaciones por servicios de agua o desagüe, cableado eléctrico, entre otros trabajos equivalentes.

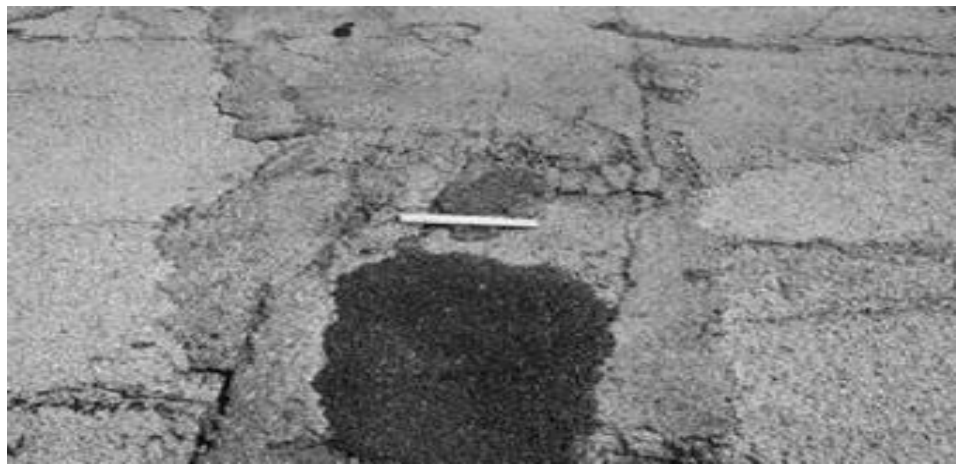


Figura 22: Parches y parches de cortes utilitarios – Alta Severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

- s) Cruce de Vía Férrea: Los defectos de cruce de vía férrea son abultamientos o depresiones que se hallan alrededor o entre los rieles.



Figura 23: Cruce de Vía Férrea – Alta Severidad.
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (2012)

2.3.19 Softwares empleados en esta investigación

a) ArcGIS Survey 123: Es una extensión del software ArcGIS creado para preparar encuestas y recopilar datos en la página de ArcGIS o aplicativo. Esta extensión presenta las siguientes opciones:

- Información General: Se muestra el total de las respuestas de las encuestas.
- Diseño: Herramienta para agregar y editar el aspecto de la encuesta
- Colaborar: Esta opción facilita permisos, limitaciones y elección de quien pueda modificar las encuestas.
- Analizar: Esta opción permite crear los reportes acordes a la información recolectada de la encuesta.
- Datos: Esta opción muestra en una tabla de datos, la información recolectada de la encuesta. También podemos observar gráficamente la ubicación georreferenciada, de cada respuesta de la encuesta, en el mapa. (Chuquizuta, 2021)

b) Software Pix4d Mapper. El software pix4D es un software que permite realizar el proceso fotogramétrico de una serie de imágenes, con el fin de obtener una serie de productos cartográficos los cuales nos permiten realizar diferentes tipos de mediciones lineales y volumétricas con alta precisión. La máxima aportación de este software es la gran capacidad de absorción de datos e interpretarlos simultáneamente para, completar un ortomosaico de altísima resolución y modelos digitales de elevaciones con una precisión muchísimo más que admisible para la obtención de cartografía (Zafra, 2018, p.75). Además, nos permite obtener los siguientes resultados.

- Triangulación fotogramétrica.
- Construcción de una nube densa de puntos.
- Modelos digitales de elevación (MDE).
- Exportación ortomosaico georreferenciada.
- Modelos digitales de terreno (MDT).
- Mediciones volumétricas y lineales

c) Software ARCGIS: ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y usar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS facilita publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores Web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio.

El sistema ArcGIS hace que información geográfica autorizada creada por la comunidad SIG pueda ser aprovechada fácilmente y de forma gratuita por cualquier persona que lo desee (y con quien a su vez desee compartirla). Este sistema incluye software, una infraestructura on-line basada en la nube, herramientas profesionales, recursos configurables como plantillas de aplicación, mapas base listos para utilizar y contenido propio compartido por la comunidad de usuarios. La compatibilidad con las plataformas de servidor y de la nube posibilitan la colaboración y el uso compartido, lo que garantiza que la información vital para la planificación y la toma de decisiones está disponible de inmediato para cualquiera.

ArcGIS permite:

- Crear, compartir y utilizar mapas inteligentes
- Compilar información geográfica
- Crear y administrar bases de datos geográficas
- Resolver problemas con el análisis espacial
- Crear aplicaciones basadas en mapas
- Dar a conocer y compartir información mediante la geografía y la visualización

2.4 Definición de términos básicos

- a) Dron: Es un vehículo aéreo capaz de transportar objetos definidos por el usuario, a este objeto se le denomina carga de pago la cual tiene diversos usos desde el transporte hasta la aplicación en ingeniería.
- b) Fotogrametría: Es la técnica mediante la cual podemos hallar las propiedades geométricas y la posición espacial mediante la captura de imágenes topográficas.
- c) Ortofoto: Compuesto por un conjunto de imágenes de alta precisión en una sola foto al acercarse un determinado punto nos permitirá identificar las distintas fallas de la carretera además como están georreferenciadas se puede determinar longitud, área, etcétera. Con esta información podemos obtener el presupuesto para poder hacer inicio a la conservación de carreteras.
- d) Sistema de navegación: Permite monitorear la posición de la aeronave (así como velocidad, altitud) en tiempo real. Este sistema de navegación se utiliza cuando se ha programado un vuelo preliminar y cuando se activa para regresar al punto de vuelo inicial ante un suceso inesperado. Además, el resultado de datos recopilados en campo usa un sistema internacional geográfico (SIG) para georreferenciar los datos y levantar observaciones. Esta operación se realiza mediante rutinas de post procesamiento.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis Principal

A través de la elaboración de mapas temáticos del PCI se logrará planificar el mantenimiento y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653.

3.1.2 Hipótesis Secundarias

- a) Mediante las fotografías de dron de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, se logrará recolectar información fotogramétrica aérea.
- b) A través del análisis de las fotografías aéreas y digitales de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, se logrará obtener datos de las fallas en el pavimento.
- c) Mediante el cálculo del índice de condición de pavimento se logrará indicar el nivel de PCI en los mapas elaborados en una plataforma geomática de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653.
- d) Mediante el PCI se logrará determinar el tipo de intervención y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653.

3.2 Sistema de Variables

3.2.1 Definición Conceptual y Operacional

El estudio tomara como variable independiente “elaborar mapas de PCI”, y para la variable dependiente “Planificación del mantenimiento y conservación del pavimento”, para ambos se consideró dos dimensiones y 1 indicadores, conceptualizaremos las siguientes variables, de acuerdo a la información teórica científica.

Tabla 2
Variables

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores
	Fotogrametría aérea	Ortomosaico, MDS, Mapa 3D
Mapas de PCI	Inspección de fallas en campo	Análisis de fallas
	elaborar mapa	Valor de PCI
Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores
	Tipo de Intervención	Condición de acción
Planificación del mantenimiento del pavimento	Sistematización del deterioro vial	Diseño de recurso vial
	Planificación de la intervención	Programación del presupuesto

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Operacionalización de Variables

Tabla 3
Operacionalización de Variables

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Independiente: Fallas en el pavimento	Efecto producido debido a interacciones complejas de diseño, materiales, construcción, tránsito vehicular y medio ambiente	Fotogrametría Aérea, Inspección de fallas en campo	Ortomosaico, MDS, Mapa 3D, Análisis de fallas	Dron, Ficha de evaluación, Catalogo de fallas, Observación en campo
Dependiente: Mapas de PCI	Representación cartográfica de la condición del pavimento	Evaluación del pavimento, Tipo de Intervención	Clasificación de nivel de PCI, Condición de acción.	Tabla de índice de condición del pavimento, Tabla de clasificación de intervención

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y Nivel de Investigación

4.1.1 Tipo de la Investigación

Esta investigación es de tipo aplicada. Confrontamos la teoría de recolección, proceso y análisis de datos de fallas del pavimento para la planificación de la conservación vial, mejorando el proceso de toma de datos empleando un software para tomar fotos georreferenciadas de las fallas del pavimento.

4.1.2 Nivel de la Investigación

El método de esta investigación corresponde al nivel descriptivo comparativo, correlacional y explicativo, ya que se estudia la evaluación de las fallas en el pavimento con dos métodos distintos, método tradicional y método VANT, con la finalidad de compararlos.

4.2 Diseño de Investigación

Esta investigación es no experimental, ya que no se varían ni manipulan las variables del estudio y de enfoque mixto ya que abarca dos tipos: cualitativo y cuantitativo. Se considera cualitativa porque para el cálculo del PCI obtendremos resultados descriptivos como excelente, muy bueno, bueno, regular, pobre, muy pobre y fallado. Por otro lado, es de tipo cuantitativa porque el resultado que proporcione el PCI tendrá siete escalas numéricas que van desde 0 hasta 100.

4.3 Población y Muestra

4.3.1 Población

La Avenida Maestro Peruano de 653m tiene 2 vías en diferentes sentidos de tránsito separadas por una alameda que funciona de separador central compuesta por áreas verdes, cada vía tiene 2 carriles y 1 berma.

La vía en estudio tiene gran cantidad de fallas a lo largo de la vía debido a que no se ha hecho un mantenimiento desde su construcción. Los usuarios experimentan una gran incomodidad al transitar por esta avenida ya que tienen que esquivar o reducir la velocidad de su vehículo para poder transitar porque al no hacerlo se ocasiona daños en los vehículos

provocando gastos para en el mantenimiento del vehículo y en el peor de los casos ocasiona accidentes.

4.3.2 Muestra

El diseño muestral es la vía pavimentada que se encontraron en la zona delimitada por las Av. Tupac Amaru y Av. Metropolitana, Urb. Carabayllo – Distrito Comas – Departamento y Provincia de Lima.

En esta investigación se emplea una muestra probabilística. (ASTM 6433) Según el método PCI, cada tramo de muestra debe tener un área entre el rango de 225 +- 90 m². Asimismo, el método considera un número mínimo de unidades de muestra a ser evaluadas, para obtener un nivel de confianza del 95% del PCI, mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$$

Donde:

n: Número de unidades de muestra a evaluar

N: Número total de unidades de muestra en la sección

e: Error admisible en el estimado del PCI de la sección

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

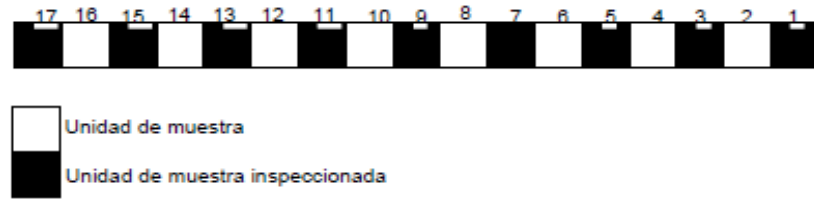
Datos:

Área = 240 m², Longitud de vía = 653 m, Unidades = 17

Cálculo:

$$N = \frac{17 \times 10^2}{\frac{5^2}{4} \times (17-1) + 10^2} = 9$$

Unidades de Muestra:



4.4 Técnicas e Instrumentación de recolección de datos

4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos

Se utilizó la técnica de observación directa con registros de observación, e indirectas mediante la fotogrametría aérea con el uso de drones. Para la fotogrametría aérea se adquirió un dron de la marca DJI modelo Mavic 2 Pro (figura 24), principalmente consta de 4 hélices y cámara de 20 MP con una inclinación de 90°.



Figura 24: Dron DJI Mavic 2 Pro.
Fuente: Google (2022).

Además, Se creó una base de datos, cuyos campos son: Información catastral, información fotogramétrica aérea, información de las fallas en el pavimento y el diseño de la encuesta (Figura 25) en el cual registraremos la evaluación de la vía mediante la plataforma survey123.

DATOS DEL PAVIMENTO

Contenido de descripción de la encuesta

Nombre del encuestador*

cespedesremar

Fecha de encuesta

29/9/2022

12:02

Ubicación de la vía*



Foto de falla del pavimento asfáltico*

Soltar image aquí o seleccionar image



Muestra

Tipo de falla*

Piel de cocodrilo

Fisuras en bloque

Abultamiento

Hundimiento

unidad de medida*

-Seleccione-

Medida

Profundidad (mm)

Diametro (cm)

Ancho (cm)

Nivel de severidad*

Baja

Media

Alta

Enviar

Figura 25: Encuesta para la evaluación en campo.
Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Los instrumentos utilizados fueron calibrados y certificados antes de su utilización, para la obtención de datos de mayor precisión.

4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos

a) Método de fotogrametría aérea

1) Misión de Vuelo

La misión o plan de vuelo se lleva a cabo en Dronedeploy, en la cual se establece el área de estudio y se ingresan los parámetros de vuelo. Para garantizar una correcta resolución, se programa la altura de vuelo a 60m y para obtener mayor número de puntos homólogos y mejor correlación de puntos, se realizó 3 vuelos con trayectorias distintas, en el primer vuelo se considera recubrimientos longitudinales de 75% y transversales de 70% (figura26), en el vuelo 2 se considera recubrimientos longitudinales

de 75% y transversales de 78% (figura 27) y en el vuelo 3 se considera recubrimientos longitudinales de 80% y transversales de 75%. (figura28)

El programa automáticamente muestra línea y tiempo de vuelo y cantidad de imágenes.



Figura 26: Línea de vuelo 1 en DroneDeploy.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 27: Línea de vuelo 2 en DroneDeploy.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 28: Línea de vuelo 3 en DroneDeploy.
Fuente: Elaboración Propia.

2) Ejecución y operación de vuelo

No es necesario cerrar parcial o totalmente la vía para ejecutar el vuelo. Para ejecutar el vuelo se elige una zona de despegue conveniente para que el VANT pueda elevarse sin contratiempos.

Previo al vuelo hacemos un checklist que garantiza la factibilidad del vuelo:

- Hélices y tarjeta de memoria colocadas correctamente
- Porcentaje de batería óptima tanto en el VANT como el radiocontrol.
- Conexión correcta entre el VANT y el radiocontrol
- Buena recepción de señal de GPS (por lo menos 10 satélites)
- Establecer punto de despegue y retorno en caso de pérdida de señal.
- Plan de vuelo cargado correctamente

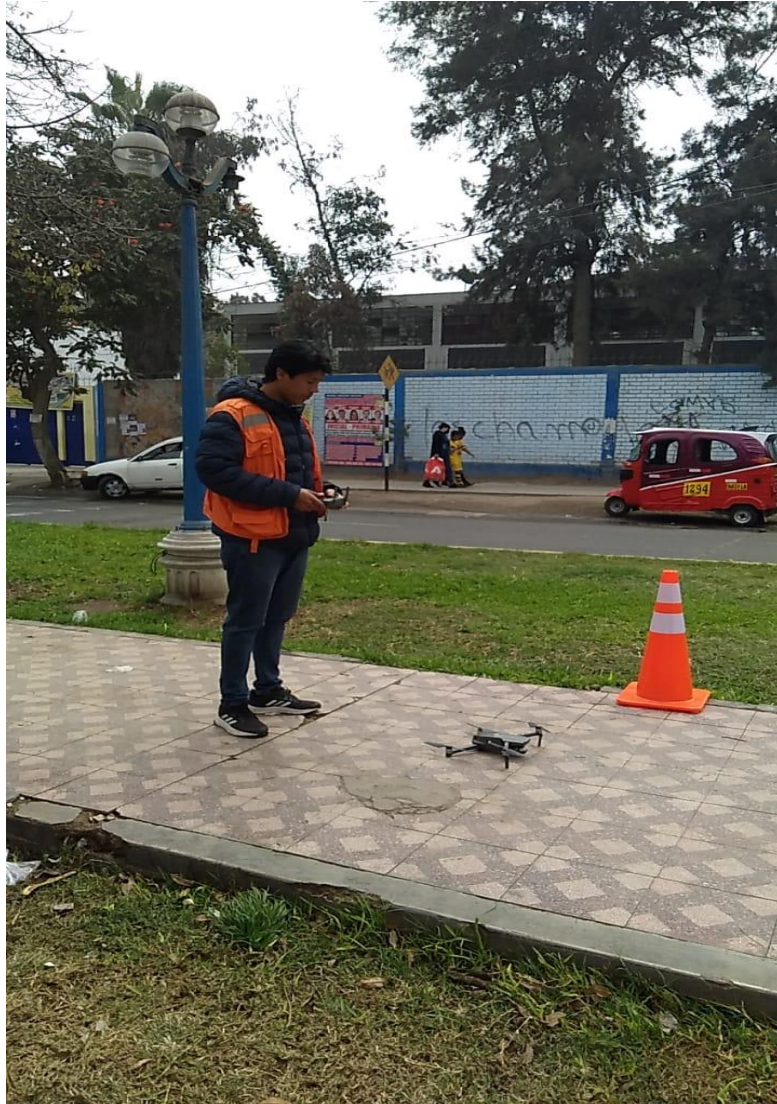


Figura 29: Despegue de dron.
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez que el VANT despegue, no es necesario el control manual por parte del piloto, a menos que se necesite cancelar el vuelo. Sin embargo, se puede monitorear en tiempo real la velocidad, ubicación, imagen de transmisión, trayectoria, número de satélites del GPS, porcentaje de la batería del equipo y cantidad de fotografías realizadas.

El tiempo total de vuelo desde el despegue hasta el aterrizaje fue de 9 minutos con una velocidad de 4.5 m/s, obteniendo en total 155 imágenes georreferenciadas, con una resolución de 1.39 cm/pixel.

3) Método de inspección de fallas en campo

- Inspección visual individualmente cada unidad de muestra seleccionada de la vía.
- Registrar y enumerar el tamaño de unidad de muestra en este caso cada 40m por 6 m.
- Realizar la inspección de las fallas existentes en la superficie del pavimento, cuantificando cada nivel de severidad y registrando la información obtenida en la plataforma de survey123.
- Recopilación de datos para su debida identificación, clasificación de cada falla y posteriormente efectuar el análisis.

4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

4.5.1 Generalidades

a) Características del suelo de vía

Para el tipo de suelo de la vía se tomó como referencia el mapa de distribución de los suelos de los distritos de Lima, donde se muestra de manera general la distribución de los suelos de la región Lima. El distrito de Comas, lugar donde se ubica nuestra vía en evaluación, según el tipo de suelo se encuentra denominado como grava limosa. Esta zona donde se ubica nuestra muestra de análisis cuenta con las mejores características geotécnicas para las cimentaciones superficiales.

b) Características del tránsito

Los tipos de vehículos que transita con frecuencia son los siguientes: motos lineales, moto taxis, autos, camionetas, combis, buses, volquetes y camiones.

El tráfico que circula en la vía de pavimento es variable según el horario y los días de la semana. Con la ayuda de información de MTC – Lima, estudio de tráfico diario se analizó los tráficos típicos en diferentes horarios y días logrando identificar más de tres secciones marcadas con carga vehicular distintas.

4.5.2 Procesamiento de imágenes

a) Procesamiento inicial

Procesamos la información fotogramétrica aérea en el software pix4dmapper, se ingresaron las imágenes obtenidas en el vuelo y se inicia el proceso fotogramétrico. El programa extrae automáticamente puntos clave de las imágenes para calcular la ubicación y parámetros de cada imagen.

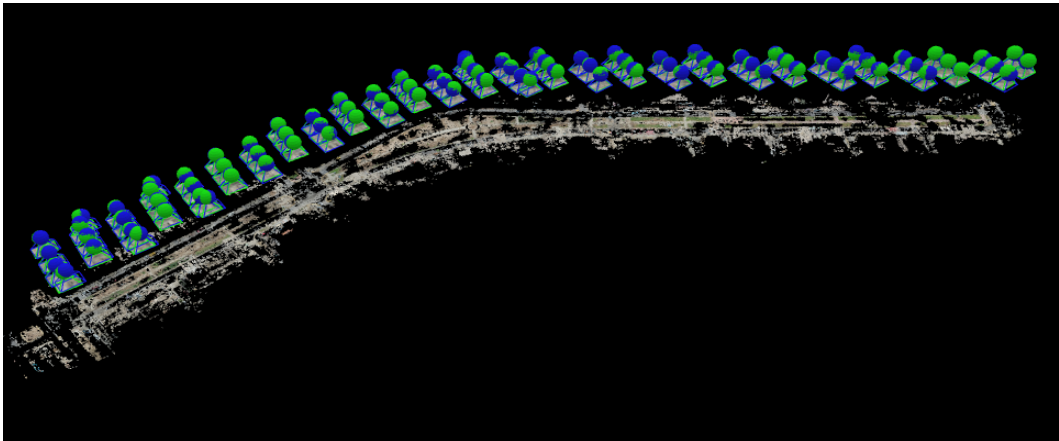


Figura 30: Ubicación de las fotografías.

Fuente: Elaboración Propia.

Luego densifica y filtra la nube de puntos de la zona de estudio para finalmente hacer la triangulación y obtener el modelo en 3D. Para nuestra vía en estudio se obtuvieron 160015234 puntos densificados como se muestra en la Figura 31.

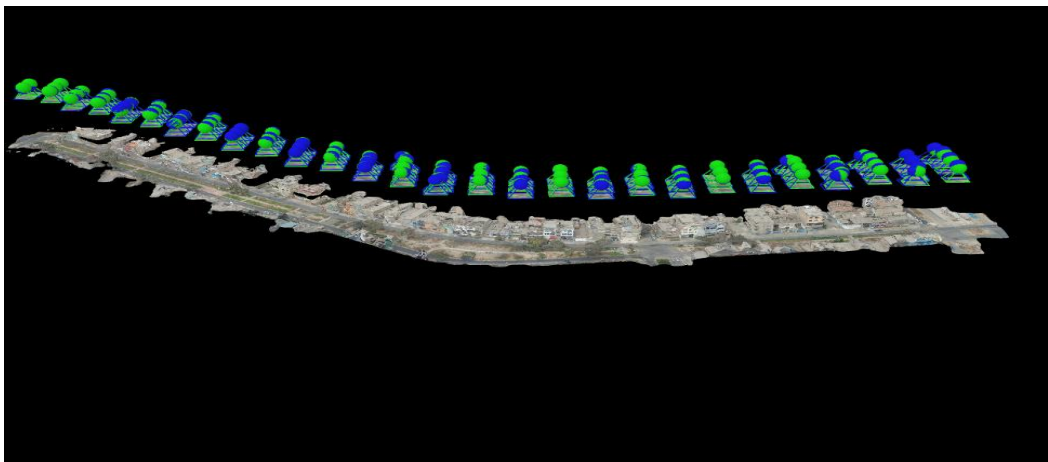


Figura 31: Nube de puntos densificada.

Fuente: Elaboración Propia.

Luego procesa la nube de puntos de la zona de estudio para obtener el modelo en 3D, como se muestra en la figura 32.

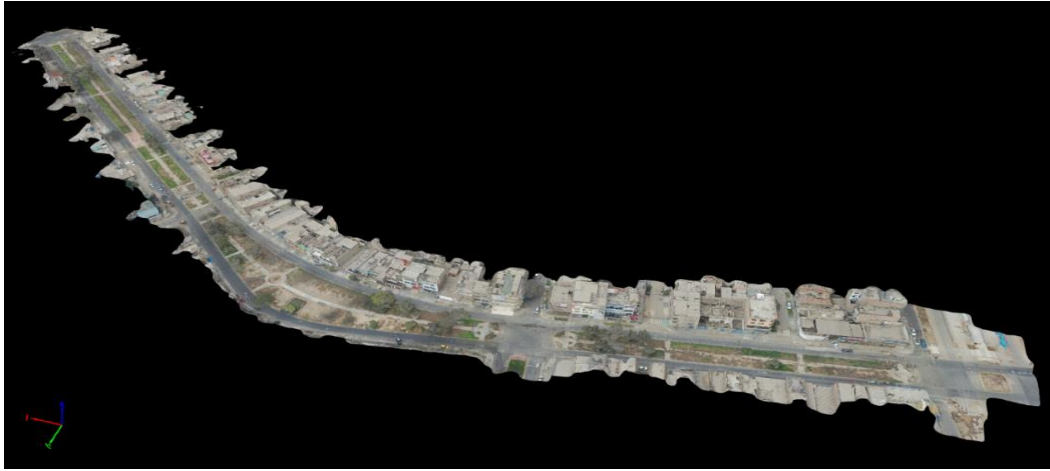


Figura 32: Modelo 3D de la Avenida Maestro Peruano.
Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, el programa genera la ortofoto de toda la zona de trabajo y el modelo digital de superficie como se muestra en la figura 33 y figura 34 respectivamente.

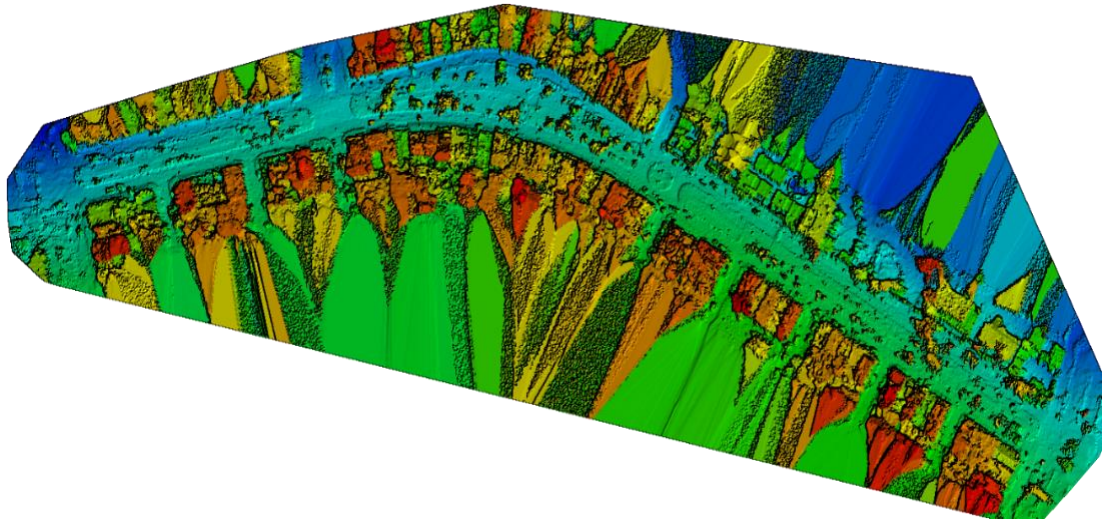


Figura 33: Modelo Digital de Superficie. GSD 1.39 cm
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 34: Ortofoto. GSD 1.39 cm
Fuente: Elaboración Propia.

Además, se muestra las 3 líneas de vuelo como se muestra en la figura 35, 36 y 37.



Figura 35: Línea de vuelo 1 en Pix4dmapper.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 36: Línea de vuelo 2 en Pix4dmapper.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 37: Línea de vuelo 3 en Pix4dmapper.
Fuente: Elaboración Propia.

b) Edición de la Ortofoto

Es posible que en la ortofoto se muestren vehículos o personas debido al habitual tránsito en la vía, que dificulta el análisis de fallas del pavimento, por ello, el software permite realizar modificaciones fácilmente, logrando una vía sin vehículos ni personas para su posterior análisis. Por ello se recomienda un recubrimiento longitudinal y transversal del vuelo para tener más de una fotografía de cada área.

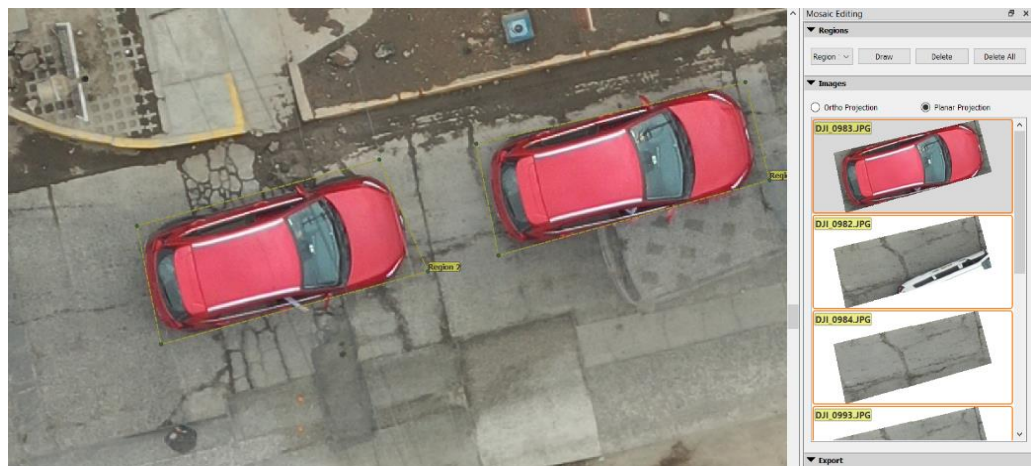


Figura 38: Ortofoto original.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 39: Ortofoto sin vehículos.
Fuente: Elaboración Propia.

Los vehículos al estar en movimiento podemos sacarlos de la ortofoto ya que el dron toma varias fotografías de cada punto conforme se va moviendo. Al tener varias fotos de cada punto, podemos escoger la foto donde no se muestra al vehículo para poder medir las fallas.



Figura 40: Fotografías de un punto de la ortofoto.
Fuente: Elaboración Propia.

4.5.3 Identificación y Medrado de las Fallas

Con la ortofoto de gran resolución y el modelo en 3D se procede a hacer el inventario de fallas de las 9 unidades de muestra de manera visual, determinando la longitud, ancho y área según el tipo de falla y su grado de severidad.

La Figura 41. muestra la falla “piel de cocodrilo” identificada en la ortofoto. En el programa ArcGIS determinamos el número de falla, numero de muestra, área, longitud de polígono y severidad.

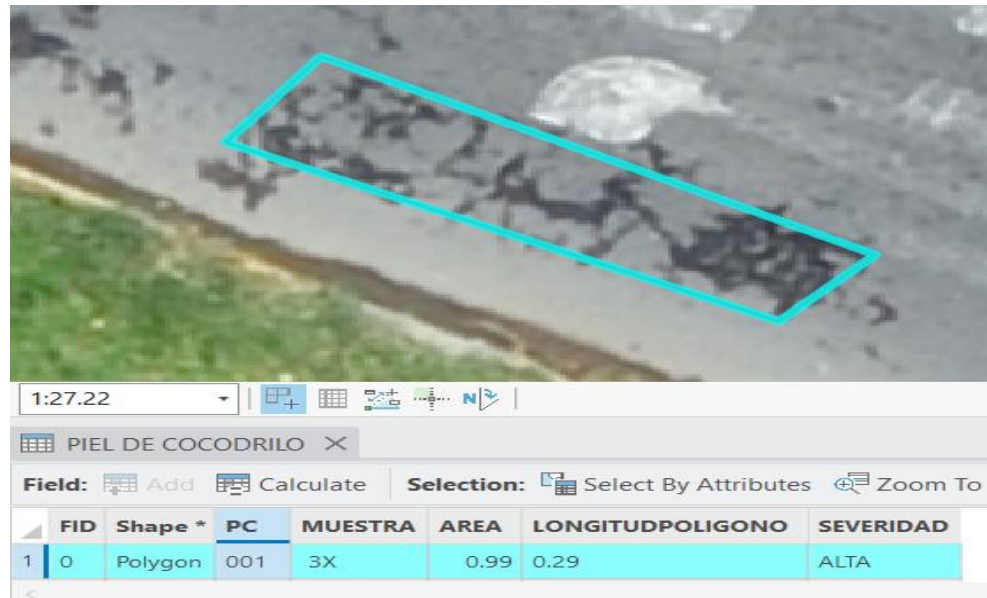


Figura 41: Piel de cocodrilo en ortofoto.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 42. muestra la falla “reparaciones o parchados” identificada en la ortofoto. En el programa ArcGIS determinamos el número de falla, numero de muestra, área y severidad.

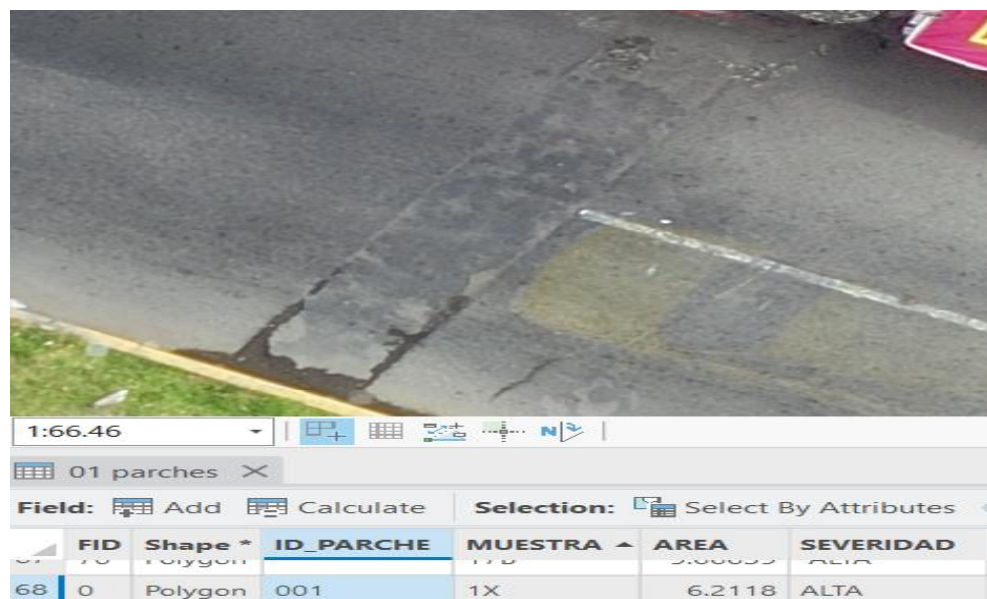


Figura 42: Reparaciones o parchados en ortofoto.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 43. muestra la falla “fisura transversal” identificada en la ortofoto. En el programa ArcGIS determinamos el número de falla, numero de muestra, longitud, ancho de fisura y severidad. En la figura 44, aplicamos filtro para identificar la falla fácilmente.

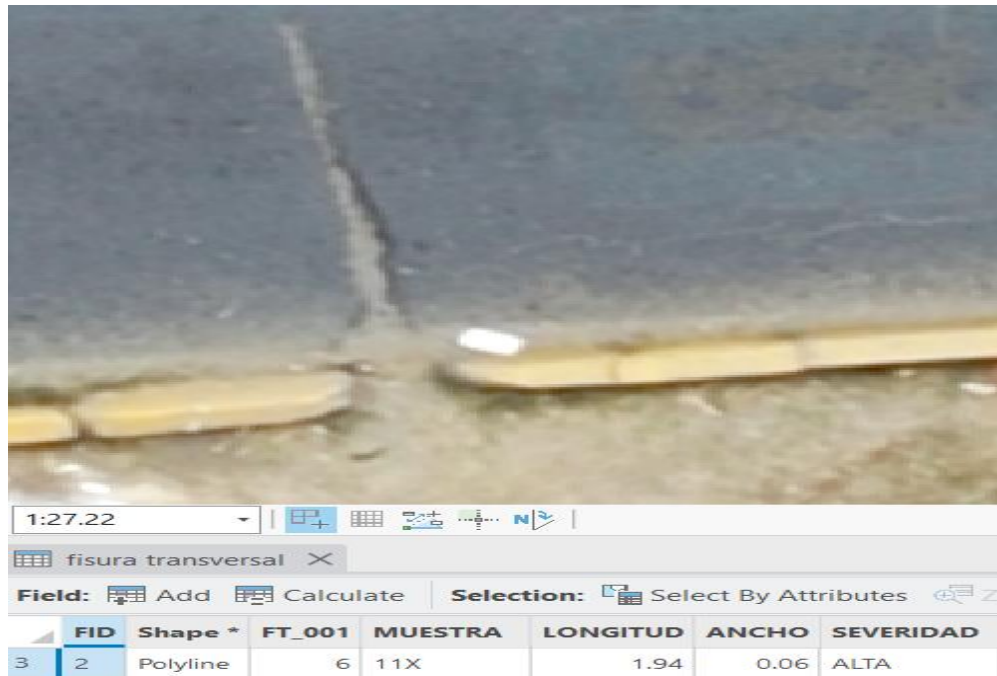


Figura 43: Fisura transversal en ortofoto
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 44: Fisura transversal con filtro en ortofoto.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 45. muestra la falla “baches” identificada en la ortofoto. En el programa ArcGIS determinamos el número de falla, numero de muestra, diámetro, profundidad y severidad. En la figura 46, determinamos la profundidad en el mapa 3d con la opción “elevation profile”.

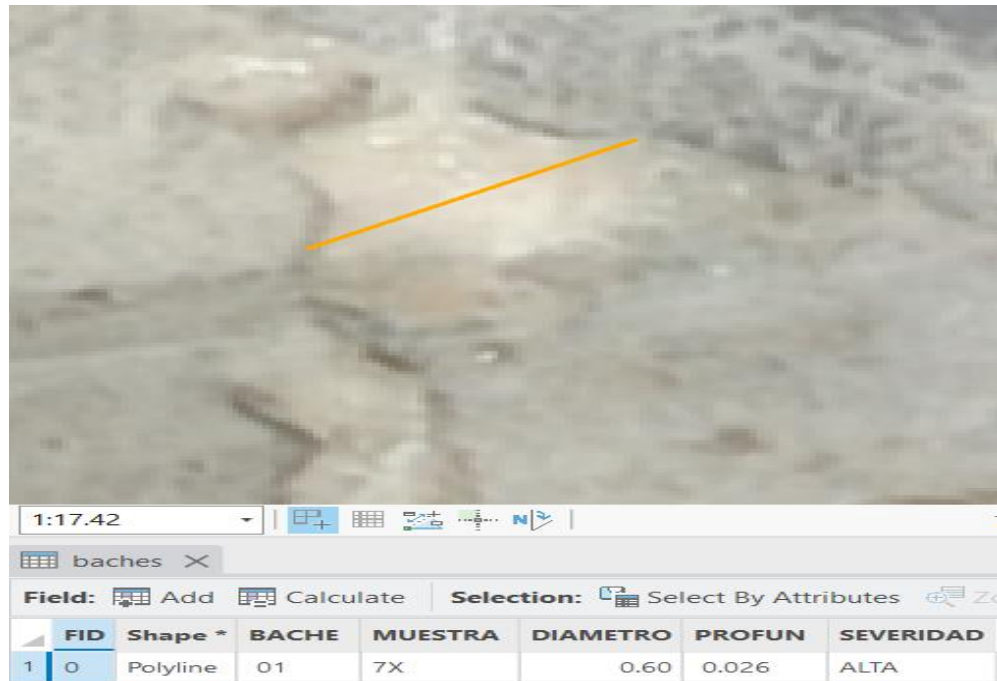


Figura 45: Bache en ortofoto.
Fuente: Elaboración Propia.

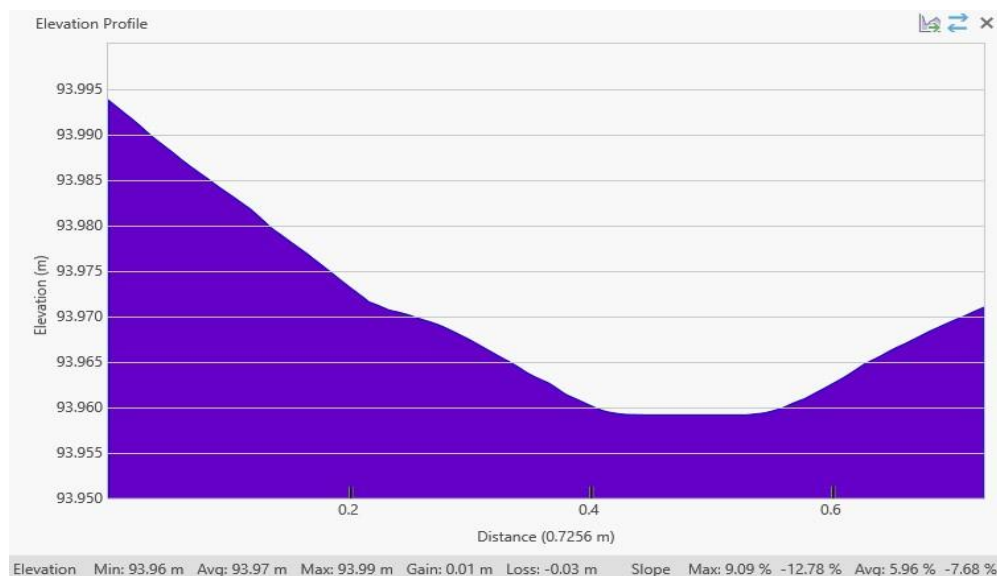


Figura 46: Profundidad de bache en ortofoto
Fuente: Elaboración Propia

La Figura 47. muestra la falla “Fisura de borde” identificada en la ortofoto. En el programa ArcGIS determinamos el número de falla, numero de muestra, longitud y severidad.

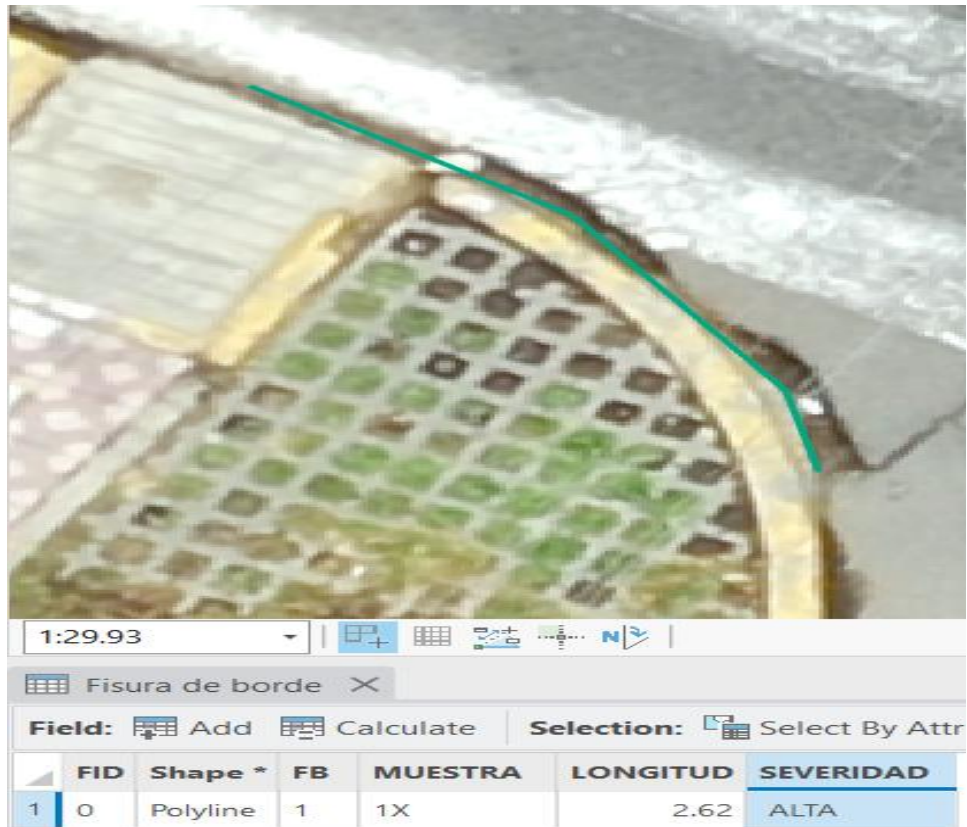


Figura 47: Fisura de borde en ortofoto.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 48. muestra la falla “Fisura Longitudinal” identificada en la ortofoto. En el programa ArcGIS determinamos el número de falla, numero de muestra, longitud, ancho de fisura y severidad. En la figura 49, aplicamos filtro para identificar la falla fácilmente.

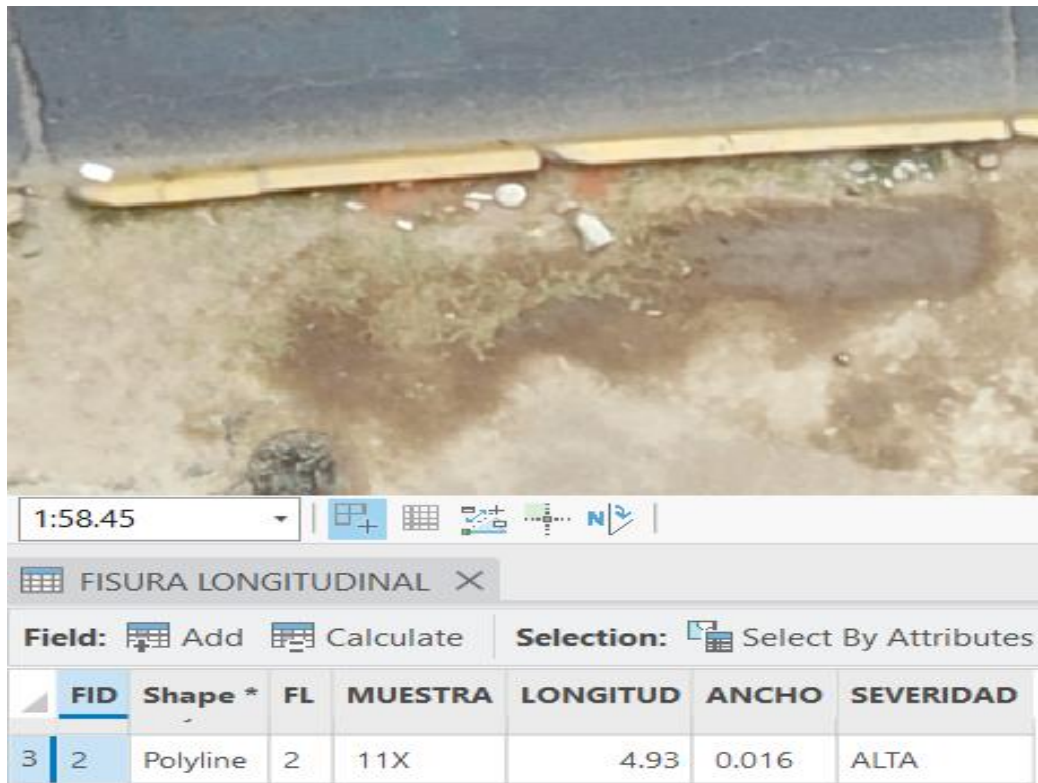


Figura 48: Fisura longitudinal.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 49: Fisura longitudinal con filtro.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 50. muestra la falla “Peladura y desprendimiento” identificada en la ortofoto. En el programa ArcGIS determinamos el número de falla, numero de muestra, área y severidad.

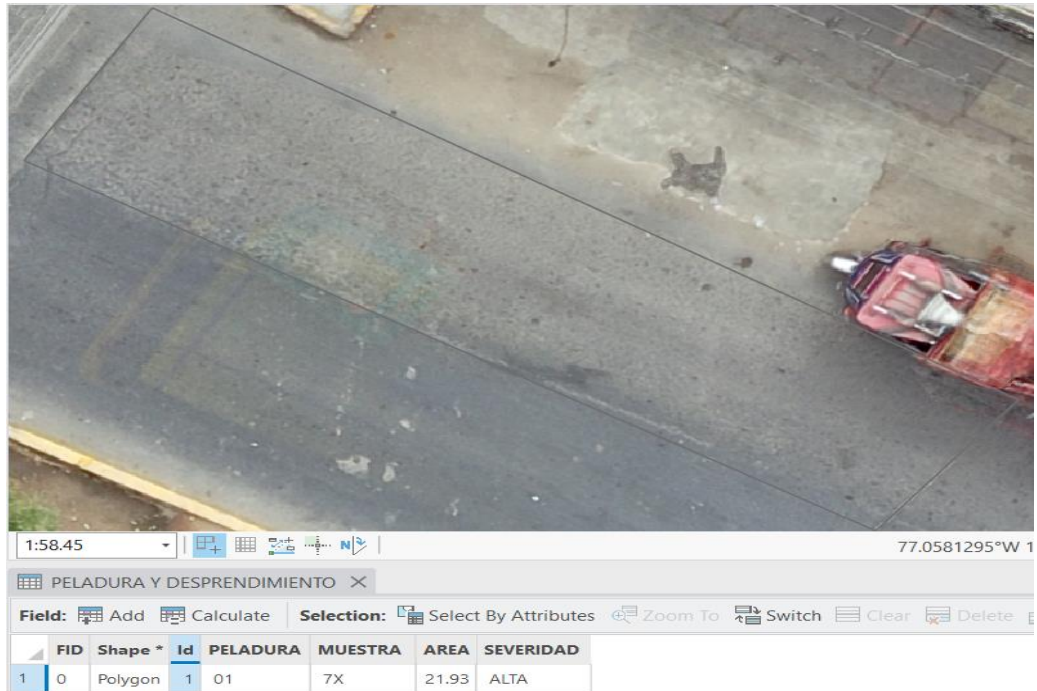


Figura 50: Peladura y desprendimiento en ortofoto.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 51. muestra la falla “Deformación por deficiencia estructural” identificada en la ortofoto. En el programa ArcGIS determinamos el número de falla, numero de muestra, longitud, profundidad y severidad. En la Figura 51. Se muestra colores verdes amarillo y rojo en el modelo digital de superficie (DSM). Las zonas de color verde representan que existe profundidad en la falla. En la Figura 53. determinamos la profundidad en el mapa 3d con la opción “elevation profile”.

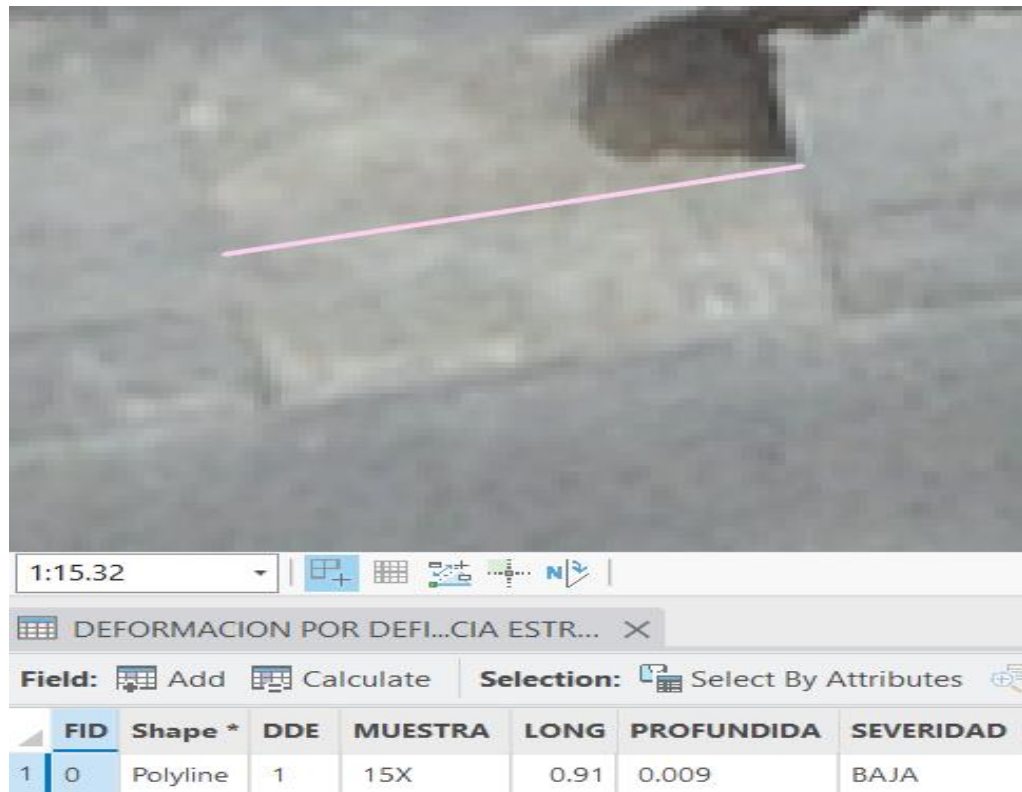


Figura 51: Deformación por deficiencia estructural en ortofoto
Fuente: Elaboración Propia.

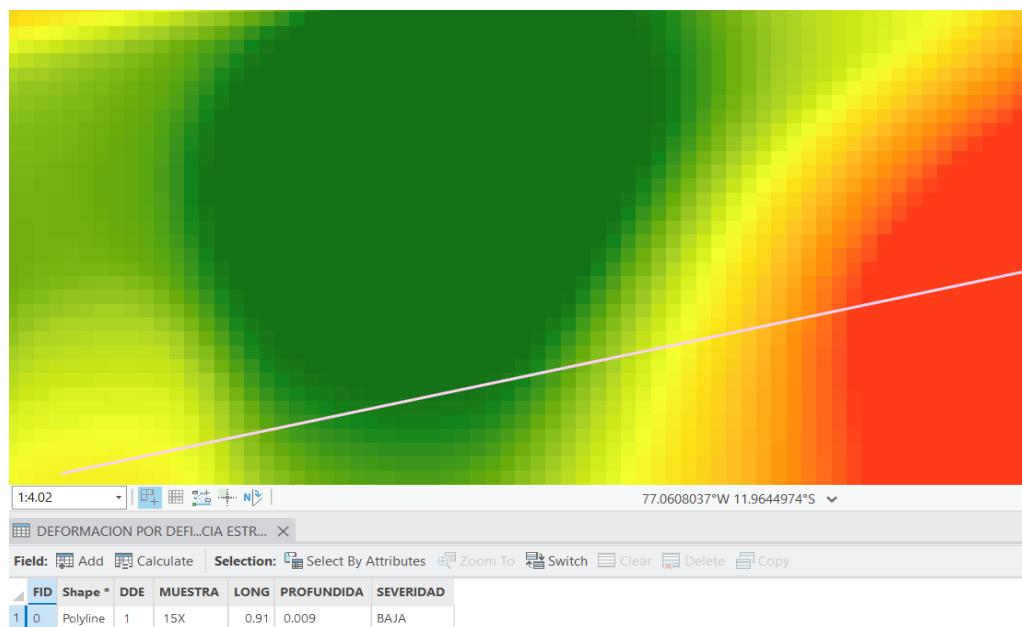


Figura 52: Deformación por deficiencia estructural en DSM.
Fuente: Elaboración Propia.

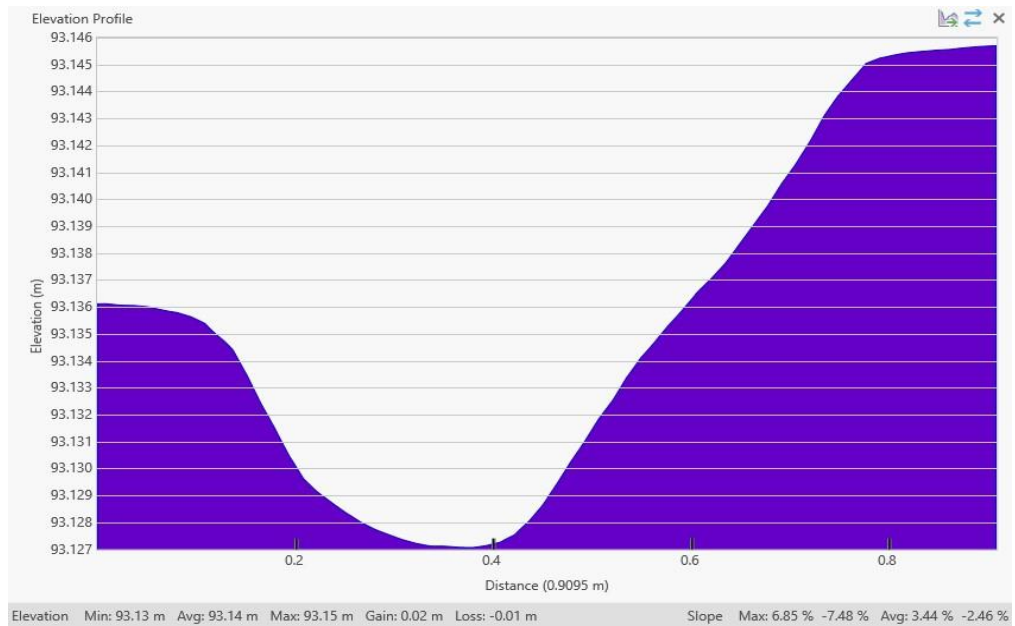


Figura 53: Profundidad de la Deformación por deficiencia estructural.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 54. muestra la falla “Corrugación” identificada en la ortofoto. En el programa ArcGIS determinamos el número de falla, numero de muestra, área y severidad

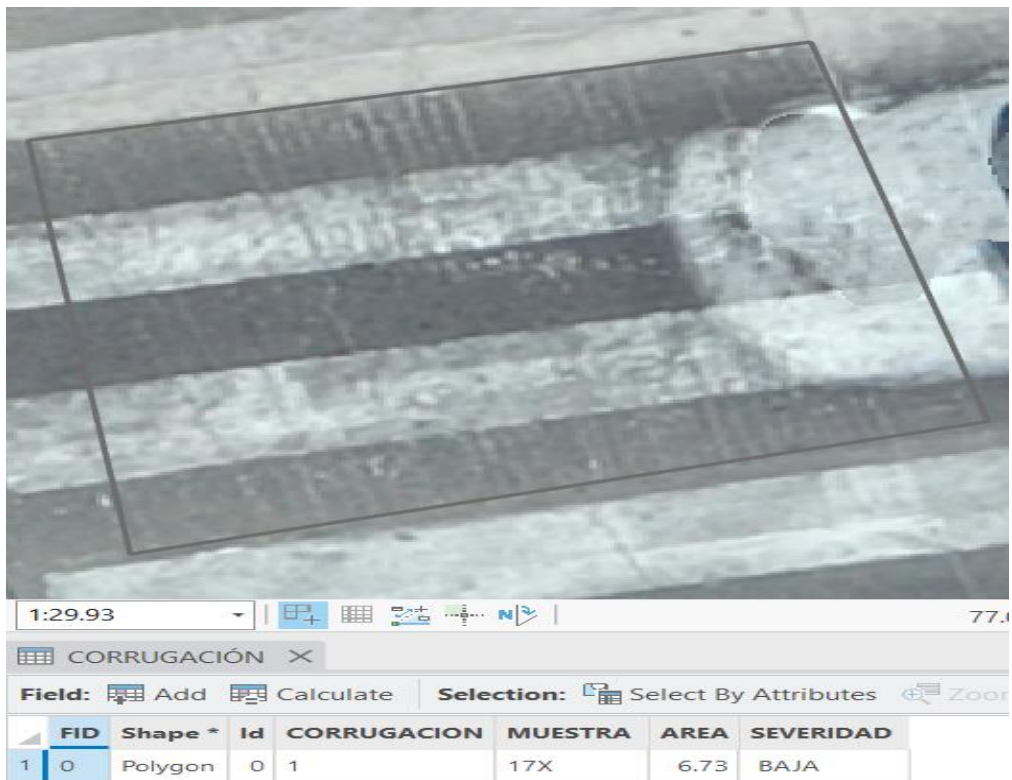


Figura 54: Corrugación en ortofoto
Fuente: Elaboración Propia

La Figura 55. muestra la falla “Fisura parabólica” identificada en la ortofoto. En el programa ArcGIS determinamos el número de falla, número de muestra, área, ancho de fisura y severidad.

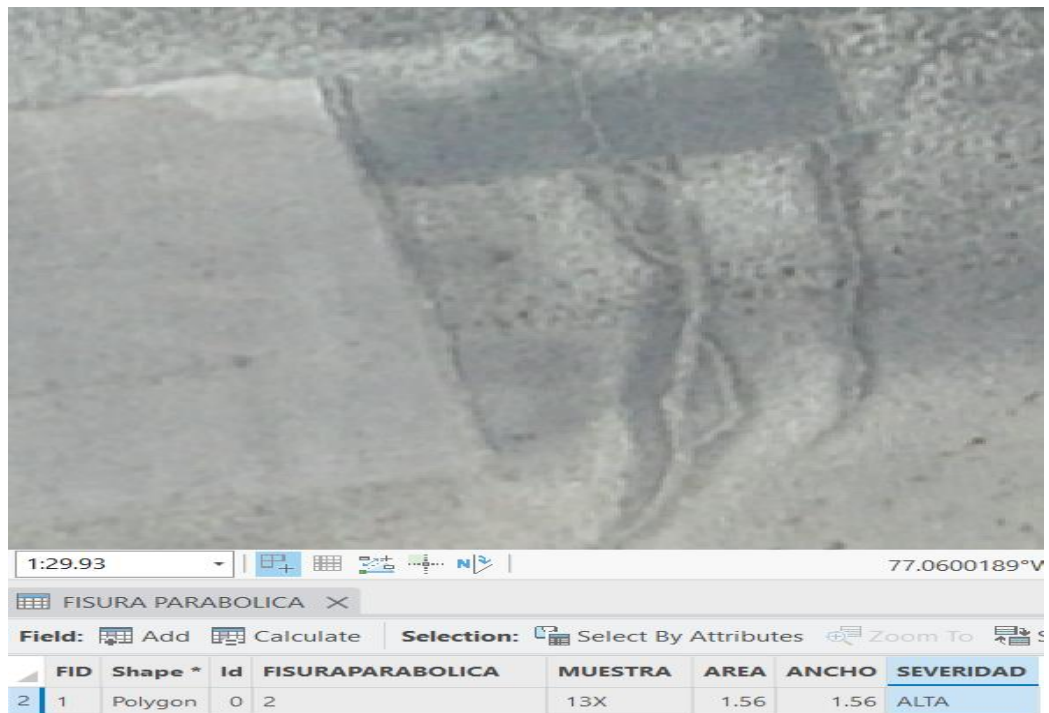


Figura 55: Fisura parabólica en ortofoto
Fuente: Elaboración Propia

4.5.4 Levantamiento de fallas en campo

El relevamiento de las fallas se realizó empleando una aplicación y catálogos de fallas de referencia. Asimismo, se empleó equipo de protección personal adecuado y se cerró parcialmente la vía utilizando conos de seguridad debido al tránsito de vehículos. Se identificaron las fallas de las 9 unidades de muestra, determinando el tipo, grado de severidad y dimensiones



Figura 56: Inspección visual en campo.
Fuente: Elaboración Propia.

Los datos obtenidos de la inspección visual en campo se procesaron en gabinete para obtener el PCI de cada muestra.



Figura 57: Medición de falla de tipo bache.
Fuente: Elaboración Propia.

El tiempo total de inspección de las muestras fue de 9 horas, iniciando a las 8:00 am y terminando a las 5:00 pm. El tiempo promedio por muestra fue de 1 hora por cada unidad de muestra, debido al tránsito vehicular y la gran cantidad de fallas. El personal estuvo compuesto por 2 personas, de las cuales uno evaluó las fallas y un asistente para la toma de datos.

4.5.5 Cálculo del PCI en pavimentos flexibles

Una vez realizada la inspección en campo y teniendo la cuantificación de fallas encontradas en cada unidad de muestra, se realiza el cálculo del índice de condición de pavimento (PCI). Para esto nos apoyamos del uso de la hoja de inspección, determinando inicialmente los valores deducidos (VD) para cada combinación, tipo de daño y severidad.

Determinación de los valores deducidos (VD):

- Se halla el total de cada tipo y nivel de severidad, registradas en las filas dadas en el formato. El deterioro debe estar medido con respecto a la unidad de medida de cada falla, en metros lineales, metros cuadrados o número de ocurrencia; teniendo en cuenta también el sistema de unidades que se está trabajando. Por ejemplo, en la Tabla 1, se ha visualizado fallas de piel de cocodrilo medidas en m² de 0.87 con una severidad media, y 0.31 y 0.86 con una severidad alta. Para mantener el orden, se ha totalizado según el nivel de severidad, teniendo 0.87 m² con severidad media y 1.17 m² con severidad alta.
- Al tener las cantidades para cada nivel de severidad, estas son divididas por el área de la unidad de muestra y multiplicada por 100 para obtener la densidad porcentual de cada falla visualizada. Por ejemplo, siguiendo en la Tabla 1, se tiene un área de unidad de muestra de 240 m², entonces la densidad para una severidad media sería 0.36% y para una severidad alta 0.49%.
- Por último, el valor deducido para cada combinación de tipo de falla y nivel de severidad, se determina mediante el uso de curvas denominadas “valor deducido de fallas”. Ver Anexo

PCI - 01 AV MAESTRO PERUANO - PAVIMENTO ASFALTICO															
PROYECTO:		AV MAESTRO PERUANO (0+000 - 0+653)													
NOMBRE DE LA VIA :		AV MAESTRO PERUANO (0+000 - 0+653)													
PROGRESIVA INICIAL (KM)		0+080													
PROGRESIVA FINAL (KM)		0+120													
ANCHO DE VIA (M)		6													
LARGO DE UNIDAD (M)		40													
AREA DE LA UNIDAD (M2)		240													

	DAÑO	SEVERIDAD	UND	AREA/UNIDAD		LONGITUD	CANTIDADE S PARCIALES	TOTAL		
				AREA	UND					
A		5 M	M2	34			34	34		34.13m2 DRON, PA
B		1 H	M2	0.31			0.31	1.17		0.28m2 DRON, 22cm DRON, 28cm SURVEY, MALLA, PC
C		1 M	M2	0.87			0.87	0.87		0.85m2 DRON, 43cm DRON, 41cm SURVEY, MALLA, PC
D		1 H	M2	0.86			0.86	0.86		0.99m2 DRON, 29cm DRON, 29cm SURVEY, MALLA, PC
E		6 L	M2	51.3			51.3	85.86		51.3m2 DRON, PE
F		8 H	M			0.79	0.79			0.63m DRON, 1.4cm DRON, 0.8cm SURVEY, ANCHO, FT
G		8 H	M			0.62	0.62			0.54m DRON, 1.4cm DRON, 0.7cm SURVEY, ANCHO, FT
H		8 H	M			0.85	0.85	2.26		NO REGISTRA
I		2 H	M			3.5	3.5	3.5		3.03m DRON, 14mm DRON, 7mm SURVEY, ANCHO, FL
J		6 L	M2	34.56			34.56			35.85m2 DRON, PE
K		8 L	M			0.64	0.64	0.64		0.56m DRON, 1.4cm DRON, 0.1cm SURVEY, ANCHO, FT
L		8 M	M			0.8	0.8	0.8		NO REGISTRA
M		11 H	M			1	1	1		NO REGISTRA

FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES			TOTAL	DENSIDAD(% VALOR DEDUCIDO)		
PA	M	M2	34			34	14.17	39	
PC	H	M2	0.31	0.86		1.17	0.49	21	
PC	M	M2	0.87			0.87	0.36	36	
PE	L	M2	51.3	34.56		85.86	35.78	9	
FT	H	M	0.79	0.62	0.85	2.26	0.94	4	
FL	H	M	3.5			3.5	1.46	11	
FT	L	M	0.64			0.64	0.27	0	
FT	M	M	0.8			0.8	0.33	0	
AB	H	M	1			1	0.42	23	
TOTAL VD =							143		

Figura 58: Ejemplo de hoja de registro en una unidad de muestra en una vía de pavimento flexible.
Fuente: Ejemplo de la norma ASTM D6433-03 (2022), adaptado a una hoja de cálculo de elaboración propia.

Al determinar los valores deducidos para cada combinación, se procede a determinar el máximo valor deducido corregido (VDC). Como principal consideración se tiene que: si los valores son mayores que 0, se usa el valor deducido total en lugar del mayor valor deducido corregido, caso contrario se realiza una serie de pasos, donde inicialmente se determinará el Número admisible de valores deducidos (m).

- Se deberán ordenar los valores deducidos individuales de mayor a menor
- Determinar el número admisible de valores deducidos con la Ec. 6:

$$m_i = 1 + 9/98 (100 - HVDi) \dots (6)$$

Donde:

m_i = Número máximo admisible de valores deducidos, incluyendo fracción para la unidad de muestreo.

HVDi = Mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i.

Para determinar el VDC se sigue un proceso de iteración.

- Determinar el número de valores deducidos (q) mayores que 0
- Determinar el valor deducido total (VDT) sumando todos los valores deducidos individuales.
- Determinar el VDC en función del valor q y el VDT, haciendo uso de la curva de corrección de valores deducidos para pavimentos flexibles. Ver Figura 23.
- Se reduce el menor valor deducido a 2 para luego hallar una nueva suma de VDT. Se repite el procedimiento hasta que $q=1$.
- El máximo valor deducido corregido será el mayor de los VDC obtenidos en el proceso.

Nº	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VDC
1	39	36	23	21	11	9	4		143	7	70
2	39	36	23	21	11	9	2		141	6	69
3	39	36	23	21	11	2	2		134	5	68
4	39	36	23	21	2	2	2		125	4	73
5	39	36	23	2	2	2	2		106	3	67
6	39	36	2	2	2	2	2		85	2	62
7	39	2	2	2	2	2	2		51	1	51
										MAXIMO VDI	73

Figura 59: Cálculo del valor deducido corregido para la determinación del PCI en una unidad de muestra.

Fuente: Elaboración Propia.

$$VDC = 73$$

$$PCI = 100 - 73 = 27 \text{ (MALO)}$$

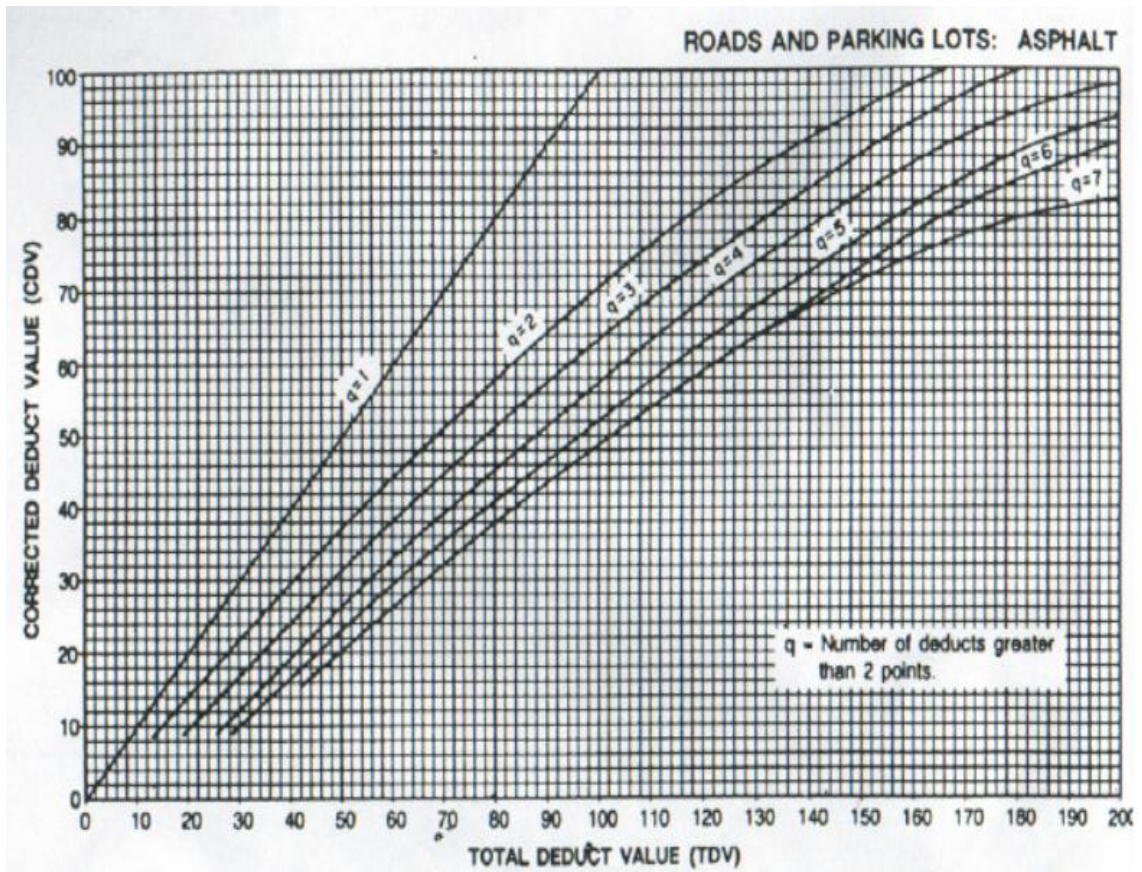


Figura 60: Curvas de corrección del Valor Deducido para Pavimentos Asfálticos.

Fuente: ASTM D6433-03 (1999).

Se siguió el mismo procedimiento para las 9 muestras, tanto en la vía 1 y 2, obteniendo el estado de condición de pavimento de cada muestra y con ello realizamos el mapa global de la condición del estado del pavimento (PCI) de la vía estudiada, como se muestra en la Figura 61.

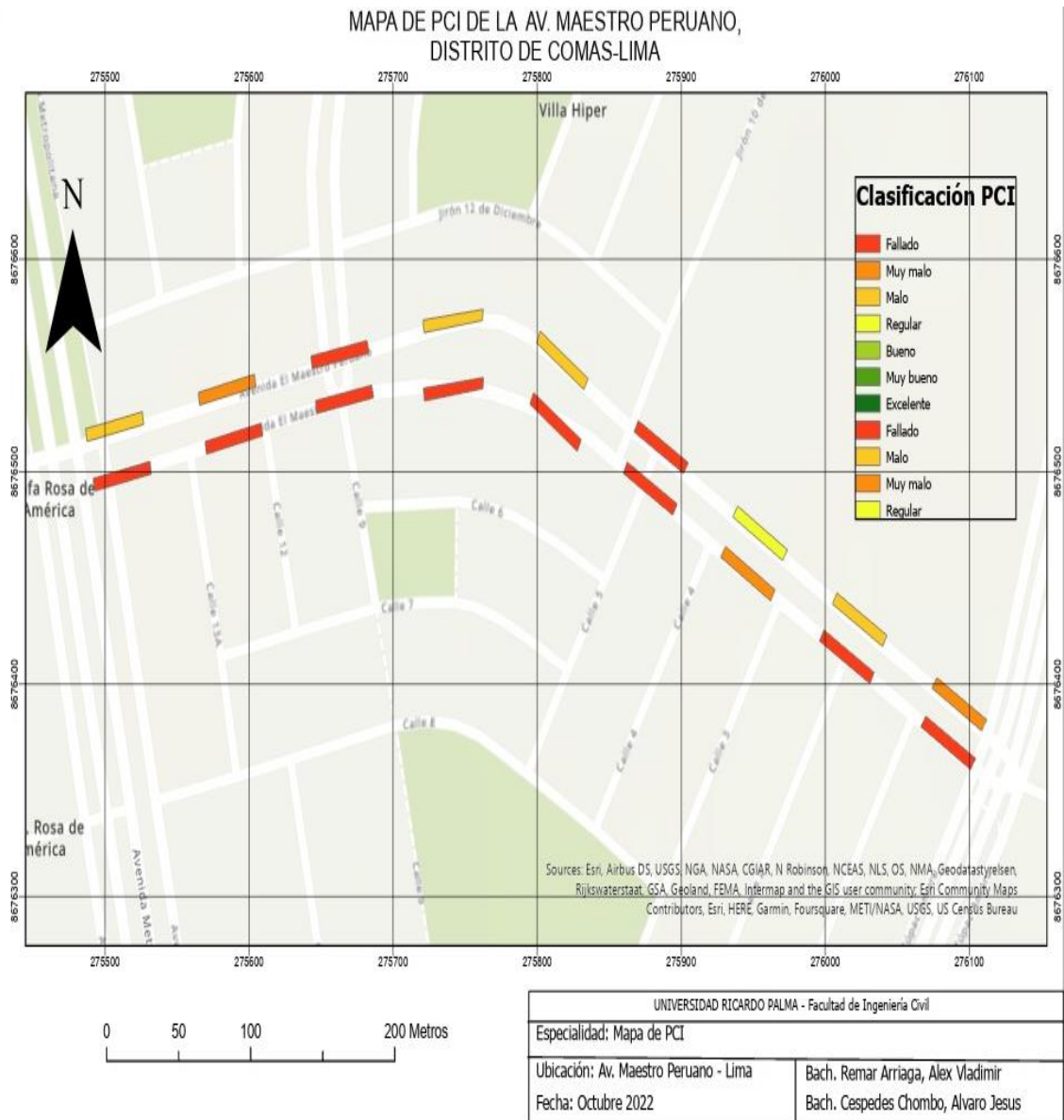


Figura 61: Mapa general del estado de la vía 1 y 2.
Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.6 Diagnóstico y situación actual:

La falla más identificada en el deterioro del pavimento es: Reparaciones o parchados(m²) y Fisura Transversal(m), ya que aparte de ser una falla funcional que afecta considerablemente el índice de servicio, se presenta en toda la superficie analizada. Seguida de esta falla se encuentra la de Peladura y Desprendimiento(m²) y Fisura Longitudinal(m) que es una falla funcional que afecta en la carpeta asfáltica solamente y que se extiende en toda el área de la vía. Seguida se encuentran los Baches(und), Piel de Cocodrilo(m²), Hundimiento(m) y Abultamiento(m), existiendo una falla estructural que daña grandemente al paquete estructural.

Asimismo, se encontró Corrugación de severidad baja, que también contribuyen al daño del paquete estructural de la vía.

Las fallas con menor porcentaje que afectan al pavimento son La Fisura de Borde(m) y La Fisura Parabólica(m²) de mediana y baja severidad pues sus áreas son pequeñas, a comparación del área total evaluada.

4.7 Presentación de Resultados

Al ser 18 unidades de muestras a analizar, La vía 1: Contrastando resultados de dron con el de campo (survey), La vía 2: Análisis netamente desde el dron. Se han seleccionado algunas de estas para una explicación breve de la determinación del PCI. Para la vía 1, se tomarán las unidades de muestra del tramo 1 de inspección (UM1, UM3, UM7), debido a que presentan una mayor variación de condición de pavimento y también presencia de árboles con sus sombras, realizando una inspección en campo para registrar las fallas poco visibles; sin embargo, en el otro tramo se observaron las fallas en la ortofoto con una mejor claridad. Para la vía 2, se tomará 1 unidad de muestra de cada tramo de inspección (UM3, UM15). Se tendrá un total de 18 unidades de muestras explicadas. Las demás unidades de muestra se encontrarán en el Anexo 5.

a) Vía 1

La vía 1 presenta una longitud de 653 m y un ancho continuo de 6 m. En ella se han dividido 9 unidades de muestra (UM1 – UM17), con un área de 240 m². Con respecto a los últimos mantenimientos dados, la calzada

presenta en toda su longitud parches de corte utilitario, pues se realizaron mejoras en el sistema de alcantarillado después de una rehabilitación de la vía. Además, podemos observar un desgaste del pavimento, considerando peladura en grandes áreas. A continuación, se explicará brevemente las unidades del tramo 1.

b) Unidad de muestra UM1

La unidad de muestra UM1 tiene 242.52 m² y pertenece al tramo 1 de inspección de la primera vía de la Av. Maestro Peruano. La falla encontrada con nivel de severidad baja fue Peladura y Desprendimiento. También se registraron baches y peladura de severidad media y fisuras transversales, parche, fisura de borde de severidad alta. Ver Tabla 5.

Las fallas más influyentes en el área de la unidad de muestra son: la peladura de nivel bajo y medio, siendo una falla funcional (influye en la carpeta asfáltica) y que se presenta en casi toda la superficie analizada y de la misma forma el parchado por corte utilitario con severidad alta. Además, se encontró dos baches de severidad media que influye significativamente en el área del pavimento inspeccionado, con un diámetro promedio de 41 m.

La falla que más influye en el daño del pavimento en la unidad de muestra inspeccionada, es la que presenta un mayor valor de deducción; siendo en este caso, el parche de severidad alta con un VD igual a 28. Por otro lado, la falla que menos influye, es la peladura de severidad media con un VD igual a 6.

Se obtuvieron 6 valores deducidos: 28, 21, 8, 7, 6 y 6. Continuando con el procedimiento del PCI, se consiguió como total del valor deducido 76, asignando como resultado un índice de 24 que corresponde a un pavimento muy malo.

c) Unidad de muestra UM3

La unidad de muestra UM3 tiene 240.81 m² y pertenece al tramo 1 de inspección de la primera vía de la Av. Maestro Peruano. Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: peladura y fisura transversal. También se registraron piel de cocodrilo, fisura transversal y

parche de severidad media; y piel de cocodrilo, fisura transversal, fisura longitudinal y abultamiento de severidad alta. Ver Tabla 6.

Las fallas más influyentes en el área de la unidad de muestra son: la peladura de nivel bajo, que se presenta en casi toda la superficie analizada y de la misma forma el parchado por corte utilitario con severidad media. Además, se observa el mayor porcentaje de densidad en la Peladura y Desprendimiento de severidad baja con respecto al total. Por otro lado, la fisura transversal de severidad baja, presenta la menor área de influencia en la unidad de muestra analizada. También se observó dos pieles de cocodrilo, fisura longitudinal, fisuras transversales y un abultamiento de severidad alta.

La falla que más influye en el daño del pavimento en la unidad de muestra inspeccionada, es la que presenta un mayor valor de deducción; siendo en este caso, las Reparaciones o Parchados de severidad media con un VD igual a 39. Por otro lado, la falla que menos influye, es la fisura transversal de severidad baja y media con un VD igual a 0. Se obtuvieron 9 valores deducidos: 39, 36, 23, 21, 11, 9, 4, 0 y 0. Siguiendo el procedimiento del PCI, se consiguió como máximo valor deducido corregido 73, asignando como resultado un índice de 27 que corresponde a un pavimento malo.

d) Unidad de muestra UM7

La unidad de muestra UM7 tiene 237.78 m² y pertenece al tramo 1 de inspección de la primera vía de la Av. Maestro Peruano. La falla de nivel de severidad baja fueron los parches de cortes utilitarios. También se registraron fisura de borde y fisuras parabólicas de severidad media. Ver Tabla 7.

La falla más influyente en el área de la unidad de muestra es el parche de corte utilitario de severidad baja y peladura de severidad alta, que se presenta en casi toda la superficie analizada. Además, se observa fisura longitudinal, baches, parches y fisura transversal de severidad alta. La falla que más influye en el daño del pavimento en la unidad de muestra inspeccionada, es la que presenta un mayor valor de deducción; siendo en este caso, los baches de severidad alta con un VD igual a 100. Por otro lado,

la falla que menos influye, es la fisura parabólica de severidad media con un VD igual a 3. Se obtuvieron 8 valores deducidos: 100, 23, 19, 18, 9, 8, 5 y 3. Siguiendo el procedimiento del PCI, se consiguió como total del valor deducido 185, asignando como resultado un índice de 0 que corresponde a un pavimento fallado.

En la Figura 59. Se muestra el detalle de la programación que se empleó para el cálculo del PCI en el software, para clasificar el estado de condición del pavimento según los resultados de valores del PCI.

The screenshot displays the ArcGIS Desktop interface with the 'Calculate Field' dialog box open. The dialog is configured to calculate the PCI field for the 'via' layer. The code block defines a function 'AsignaClasificación(vPCI)' that returns classification categories based on vPCI values: 'Fallado' (vPCI ≤ 10), 'Muy malo' (10 < vPCI ≤ 25), 'Malo' (25 < vPCI ≤ 40), and 'Regular' (40 < vPCI ≤ 55). The background map shows a street network with colored overlays representing different PCI values. An attribute table at the bottom right shows the results of the calculation.

OBJECTID	No. de muestra	Área	Perimetro	PCI	Clasificación	Falla1
1	1	242.52	92	26	Malo	PA
2	3	240.81	92	0	Fallado	PA
3	17	240.57	92	15	Muy malo	PA
4	6	237.78	91			
5	8	236.70	91			
6	10	229.76	94.07			
7	12	238.73	91.63			
8	14	239.15	91.79			

Figura 62: Programación de cálculo del PCI.

Fuente: Elaboración propia

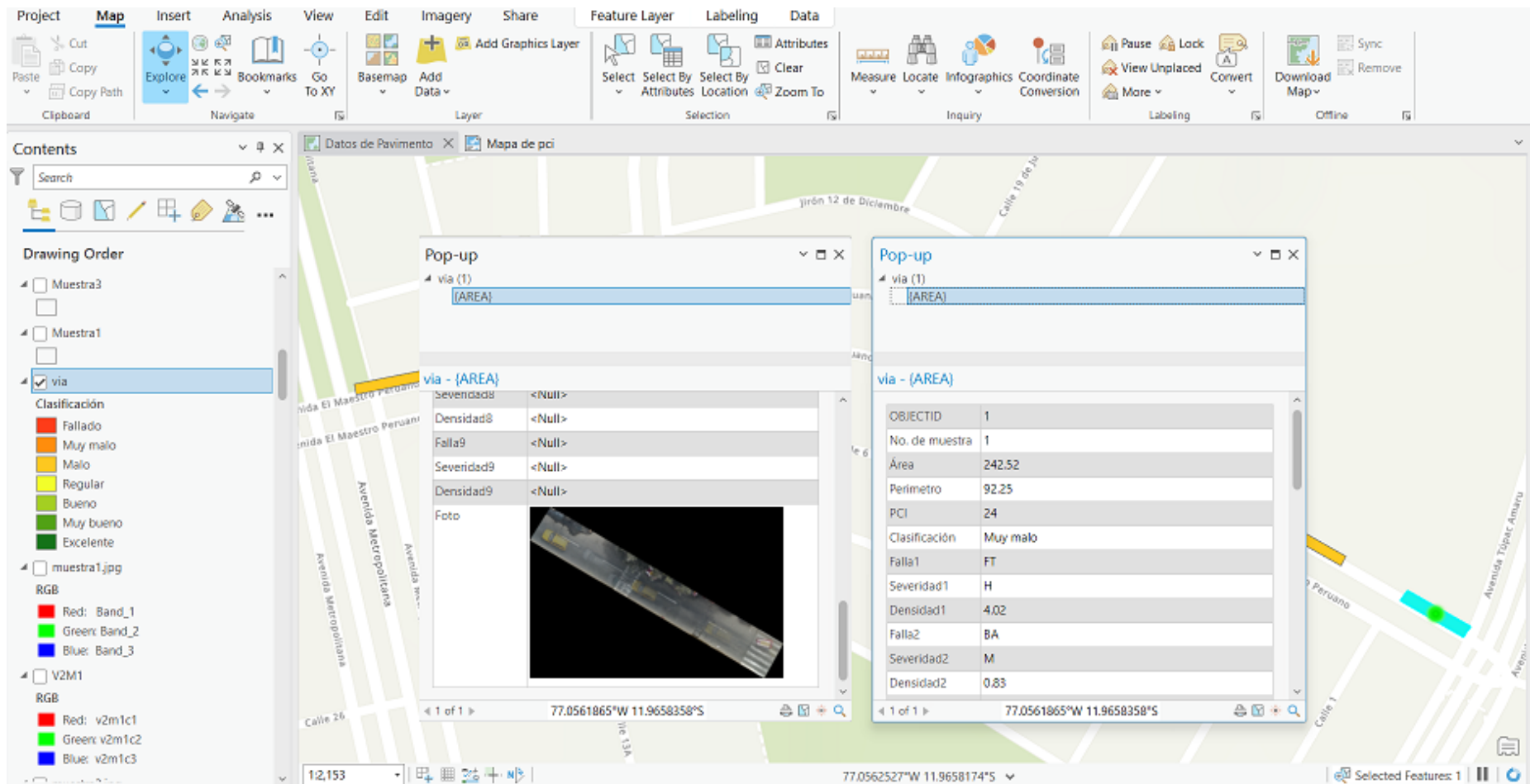


Figura 63: Software de registro y cálculo del PCI de la unidad de muestra UM1, Vía 1 – Tramo 1, de la Av. Maestro Peruano
Fuente: Elaboración propia.

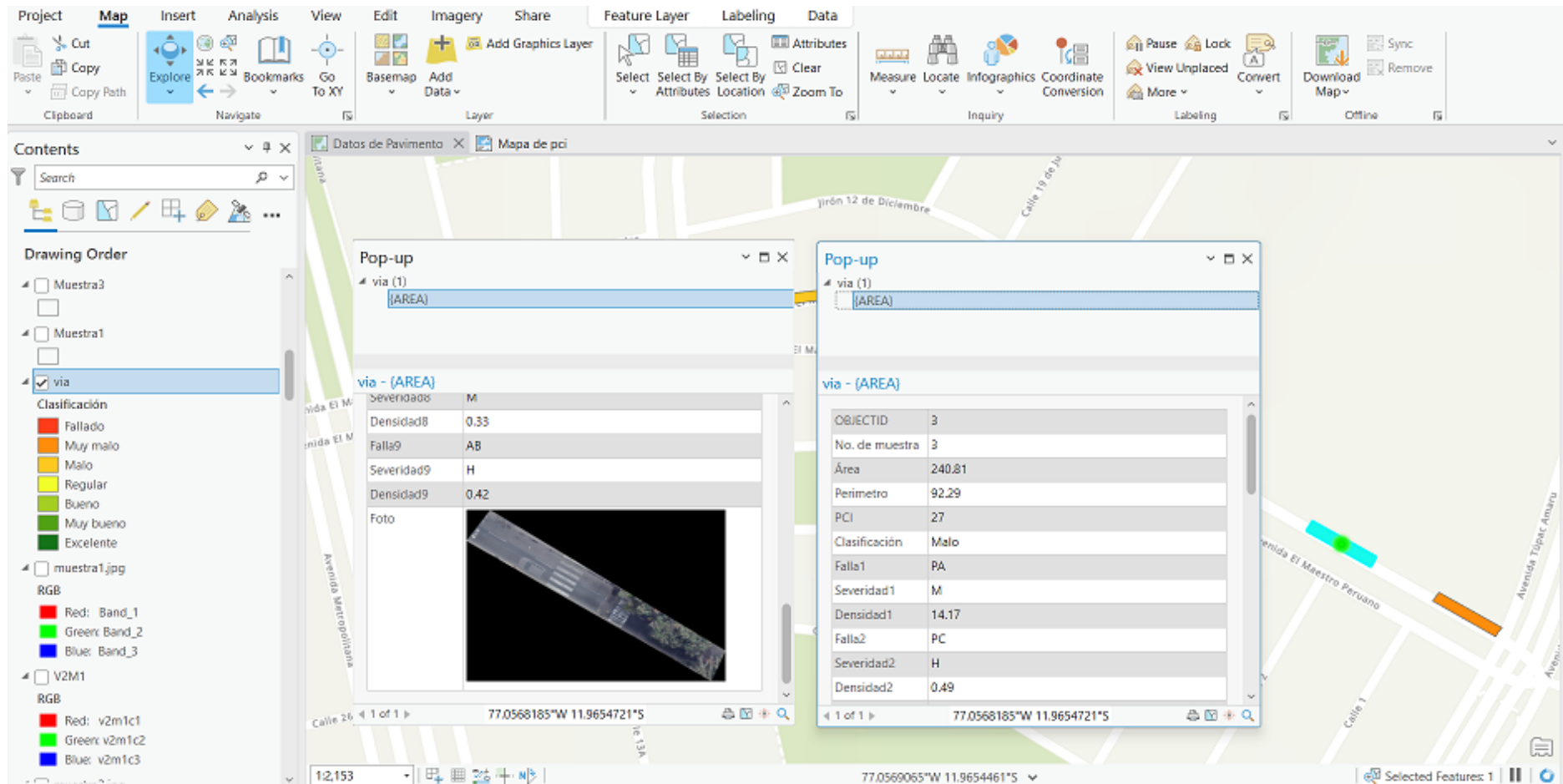


Figura 64: Software de registro y cálculo del PCI de la unidad de muestra UM3, Vía 1 – Tramo 1, de la Av. Maestro Peruano. Fuente: Elaboración propia.

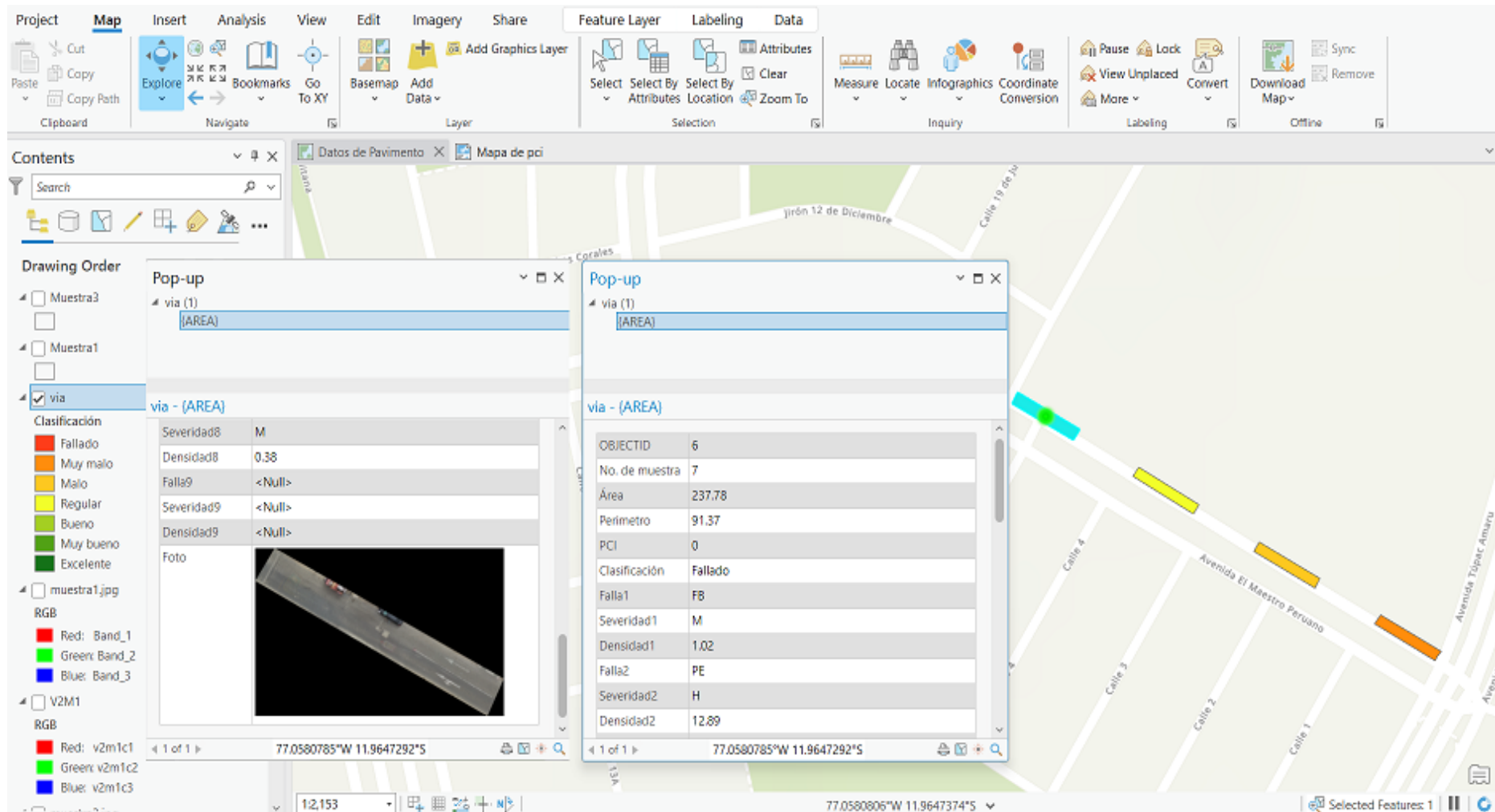


Figura 65: Software de registro y cálculo del PCI de la unidad de muestra UM7, Vía 1 – Tramo 1, de la Av. Maestro Peruano.
Fuente: Elaboración propia.

e) Vía 2

La vía 2 presenta una longitud de 653 m, con un sentido contrario a la vía 1. En ella se ha tomado un total de 9 unidades de muestra (UM1 – UM17), donde las unidades presentan un ancho de calzada de 6 m, con un área de 240 m².

La vía presenta un mayor desgaste en la pavimentación, lo cual la diferencia con la vía 1 respecto a la condición en que se encuentran. En ella se puede observar la gran cantidad de fallas que presenta con severidades altas. Muestra, en todo su recorrido, buzones de sistema de alcantarillado, los cuales fueron considerados como parches de cortes utilitarios, pues comprometen la calidad del tránsito, peladura en los bordes de las calzadas. Para una explicación breve de las unidades de muestra, se ha tenido en cuenta la selección de las unidades UM3 y UM15; siendo cada una de ellas de los tramos 1 y 2 de inspección, respectivamente.

f) Unidad de muestra UM3

La unidad de muestra UM3 tiene 240.81 m² con un ancho de 6 m, que pertenece al tramo 1 de inspección de la segunda calzada de la Av. Maestro Peruano.

Las fallas de nivel de severidad alta fueron: parches de corte utilitario, fisura de borde, bache, peladura, fisura transversal y fisura longitudinal. Ver Tabla 8.

La falla más influyente en el área de la unidad de muestra es: la fisura longitudinal de severidad alta con un área de 49.68 m², que se observa a lo largo. Además, se observa un área de 0.86 m² de peladura y desprendimiento de severidad media. La falla que más influye en el daño del pavimento en la unidad de muestra inspeccionada, es la que presenta un mayor valor de deducción; siendo en este caso, el parche de corte utilitario de severidad alta con un VD igual a 65. Por otro lado, la falla que menos influye, es la peladura de severidad media con un VD igual a 7. Como se aprecia en la Tabla 8, se obtuvieron 2 valores deducidos: 65 y 7. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtuvo el total del valor deducido 219,

asignando como resultado un índice de 0 que corresponde a un pavimento fallado.

g) Unidad de muestra UM15

La unidad de muestra UM15 tiene 239.15 m² con un ancho de 6 m, pertenece al tramo 2 de inspección de la segunda calzada de la Av. Maestro Peruano. Las fallas de nivel de severidad alta fueron: peladura, parches de corte utilitario, fisura longitudinal y fisura transversal. Ver Tabla 9.

La falla más influyente en el área de la unidad de muestra es: la fisura transversal de severidad alta con un área de 52.51 m², que se observa a lo largo. Además, se observa una baja área de 1.47m² de peladura y desprendimiento de severidad media. La falla que más influye en el daño del pavimento en la unidad de muestra inspeccionada, es la que presenta un mayor valor de deducción; siendo en este caso, el parche de corte utilitario de severidad alta con un VD igual a 54. Por otro lado, la falla que menos influye, es la peladura de severidad media con un VD igual a 9. Como se aprecia en la Tabla 9, se obtuvieron 2 valores deducidos: 54 y 9. Siguiendo el procedimiento del PCI, se consiguió como total del valor deducido 201, asignando como resultado un índice de 0 que corresponde a un pavimento fallado.

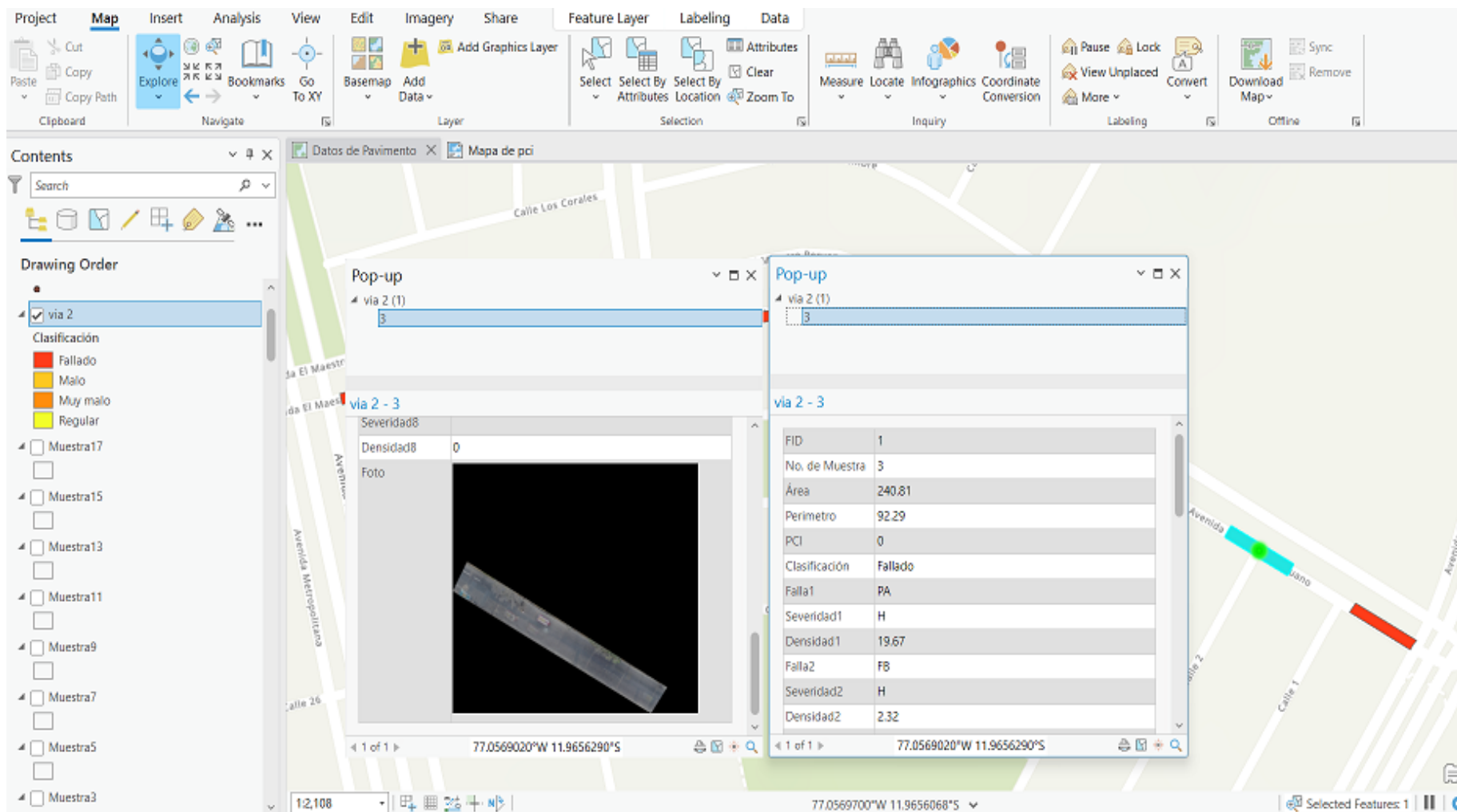


Figura 66: Software de registro y cálculo del PCI de la unidad de muestra UM3, Vía 2 – Tramo 1, de la Av. Maestro Peruano.
Fuente: Elaboración propia.

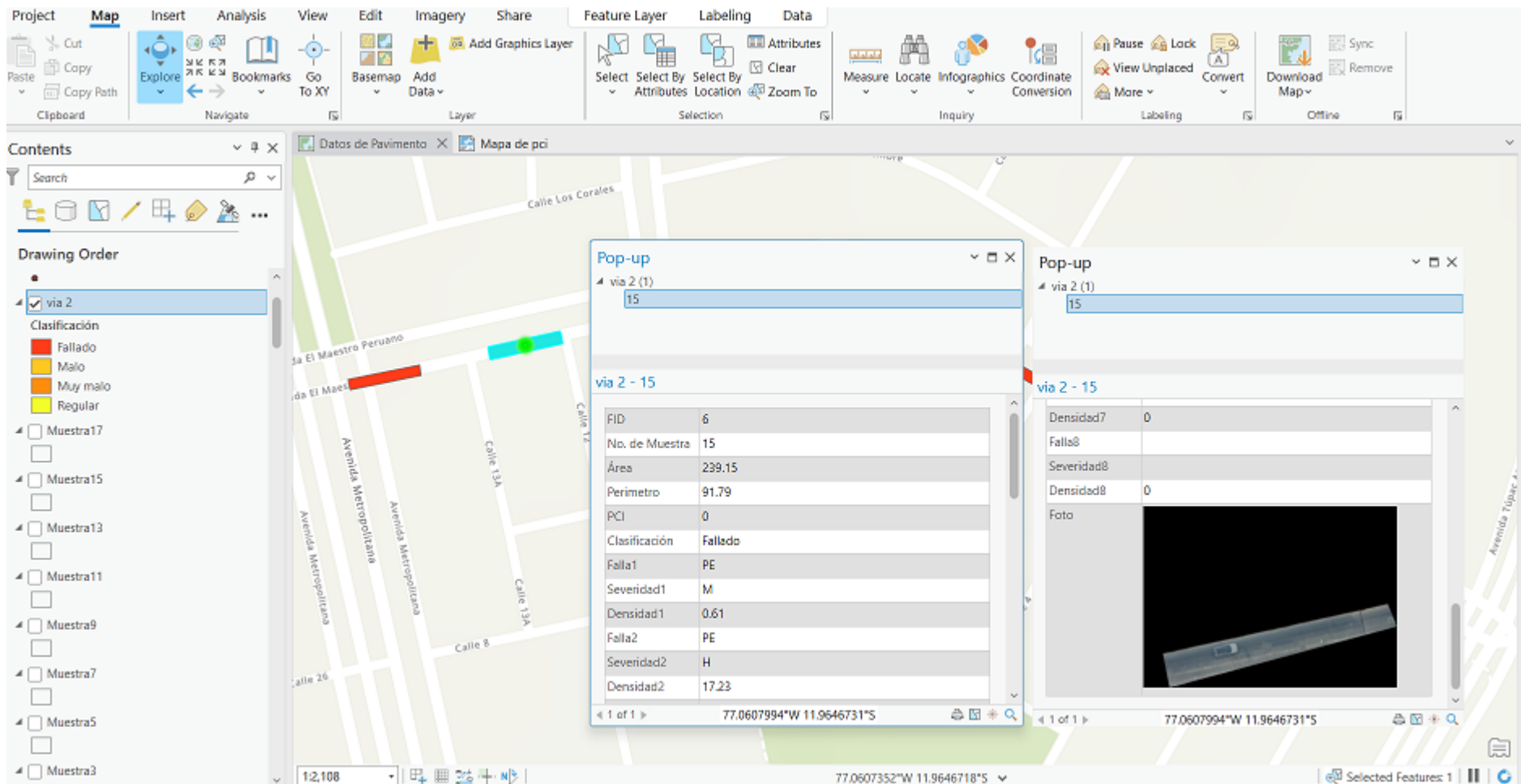


Figura 67: Software de registro y cálculo del PCI de la unidad de muestra UM15, Vía 2 – Tramo 2, de la Av. Maestro Peruano.
Fuente: Elaboración propia.

4.8 Análisis de Resultados

Se presenta en resumen los resultados de las 18 unidades de muestra de la evaluación del estado del pavimento de la Av. Maestro Peruano, dividiéndose en 2 calzadas de 9 muestras cada una. Se calculó el PCI promedio de los 2 tramos de inspección de cada calzada para tener una idea global de cuál es el estado del pavimento del tramo seleccionado, para así brindar una condición de acción adecuada en la Av. Maestro Peruano. Ver Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 4
Resumen de los valores de PCI en la Av. Maestro Peruano.

		Vía 1				Vía 2				
	Unds.	Área m ²	P CI	Estado	Prome dio	Unds.	Área m ²	P CI	Estado	Promedio
	UM1	242.52	24	Muy malo		UM1	242.52	0	Fallado	
	UM3	240.81	27	Malo		UM3	240.81	0	Fallado	
1	UM5	240.57	45	Regular	25.6 (Malo)	UM5	240.57	15	Muy malo	3 (fallado)
	UM7	237.78	0	Fallado		UM7	237.78	0	Fallado	
	UM9	236.7	32	Malo		UM9	236.7	0	Fallado	
	UM11	229.76	26	Malo		UM11	229.76	0	Fallado	
2	UM13	238.73	0	Fallado	17.25 (Muy malo)	UM13	238.73	0	Fallado	0 (fallado)
	UM15	239.15	15	Muy malo		UM15	239.15	0	Fallado	
	UM17	240.6	28	Malo		UM17	240.6	0	Fallado	
Pro m. vía					21.43 (Muy malo)					1.5 (Fallado)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5
Índice de estado superficial del pavimento

Índice de estado superficial del pavimento - condición acción		
Rango de Índice de Estado	Condición de Acción	Descripción
100 a 85	Bueno Mantenimiento rutinario	Pavimento en condición muy buena, no requiere acciones de mantenimiento correctivo inmediatas, ocasionalmente pueden requerir acciones de mantenimiento mínimo preventivo.
85 a 70	Satisfactorio Mantenimiento rutinario	Pavimento en condición buena, con fallas incipientes que requieren acciones de mantenimiento correctivas inmediatas y/o en el corto plazo.
70 a 40	Justo Mantenimiento periódico	Pavimento en condición dudosa o regular, con fallas evidentes que requieren acciones de mantenimiento correctivo frecuentes y probablemente una rehabilitación a mediano plazo: 1. Condición dudosa mantenimiento correctivo mayor. 2. Sellado de superficie. 3. Re-encarpetado delgado.
40 a 25	Muy Rehabilitación Pobre	Pavimento en condición deficiente con fallas en proceso de generación, que requieren una rehabilitación en el corto plazo para evitar la generalización de daños irreversibles.
< 25	Grave y Colapsado Reconstrucción	Pavimento en condición muy deficiente, con fallas severas generalizadas que requieren una rehabilitación mayor, probablemente con alto porcentaje de reconstrucción, en el corto plazo.

Fuente: Elaboración propia.

Se agrupa cada vía en 2 tramos de inspección diferentes:

a) Vía 1

Asociamos los resultados en 2 tramos de inspección: el tramo 1, que abarca desde UM1 hasta UM9, presenta un PCI promedio de 25.6, lo que corresponde a un índice malo; el tramo 2, que incluye UM11 hasta UM17, tiene un PCI promedio de 17.25, que corresponde a un índice muy malo. Se puede afirmar, por lo tanto, que la Av. Maestro Peruano, en la vía 1 con 653 m analizados, tiene un pavimento grave y colapsado (Tabla 12) de PCI promedio igual a 21.43, incorporando a todas las 9 unidades de muestra. De esta calzada, su mayor valor de PCI lo posee la unidad de muestra UM5 (tramo 1 de inspección), igual a 45 y de condición regular. El menor PCI, de valor 0, corresponde a la unidad de muestra UM7 y UM13 (tramo 1 de inspección y tramo 2 respectivamente) con condición fallado.

Tabla 6
Resumen de la condición de acción en la vía 1 de la Av. Maestro Peruano.

Muestra	PCI	Área m ²	Clasificación	Condición de acción	Acción
1	24	242.52	Muy malo	Grave y Colapsado	Reconstrucción
3	27	240.81	Malo	Muy Pobre	Rehabilitación
5	45	240.57	Regular	Justo	Mantenimiento Periódico
7	0	237.78	Fallado	Grave y Colapsado	Reconstrucción
9	32	236.7	Malo	Muy Pobre	Rehabilitación
11	26	229.76	Malo	Muy Pobre	Rehabilitación
13	0	238.73	Fallado	Grave y Colapsado	Reconstrucción
15	15	239.15	Muy malo	Grave y Colapsado	Reconstrucción
17	28	240.6	Malo	Muy Pobre	Rehabilitación

Fuente: Elaboración propia.

b) Vía 2

También se asocia los resultados en 2 tramos de inspección; el tramo 1, que abarca desde UM1 hasta UM9, presenta un PCI promedio de 3, lo que corresponde a un índice fallado; el tramo 2, que incluye UM11 hasta UM,17 tiene un PCI de 0, que corresponde a un índice fallado; Además, se puede decir que la Av. Maestro Peruano, en la vía 2 con 653 m analizados, tiene un pavimento grave y colapsado (Tabla 13) de PCI promedio igual a 1.5, incorporando a todas las 9 unidades de muestra. De esta calzada, su mayor valor de PCI lo posee la unidad de muestra UM5 (tramo de inspección 1), igual a 15 y de condición muy mala. El menor PCI, de valor 0, corresponde al resto de unidades de muestra con un estado fallado. Llegando a terminar la interpretación del cuadro presentado, podemos decir que el promedio de ambas vías de la Av. Maestro Peruano en el tramo seleccionado (1306 m), presenta un PCI promedio de 11.46, lo que corresponde a un pavimento grave y colapsado.

Tabla 7
Resumen de la condición de acción en la vía 2 de la Av. Maestro Peruano

Muestra	PCI	Área M2	Clasificación	Condición De Acción	Acción
1	0	242.52	Fallado	Grave y Colapsado	Reconstrucción
3	0	240.81	Fallado	Grave y Colapsado	Reconstrucción
5	15	240.57	Muy Malo	Grave y Colapsado	Reconstrucción
7	0	237.78	Fallado	Grave y Colapsado	Reconstrucción
9	0	236.7	Fallado	Grave y Colapsado	Reconstrucción
11	0	229.76	Fallado	Grave y Colapsado	Reconstrucción
13	0	238.73	Fallado	Grave y Colapsado	Reconstrucción
15	0	239.15	Fallado	Grave y Colapsado	Reconstrucción
17	0	240.6	Fallado	Grave y Colapsado	Reconstrucción

Fuente: Elaboración propia.

Como resumen tenemos en la vía 1 que el 74.51% de las unidades de muestras inspeccionadas tienen un nivel de severidad Alta; un 13.73% de severidad baja y 11.76% de severidad media. Ver Figura 68

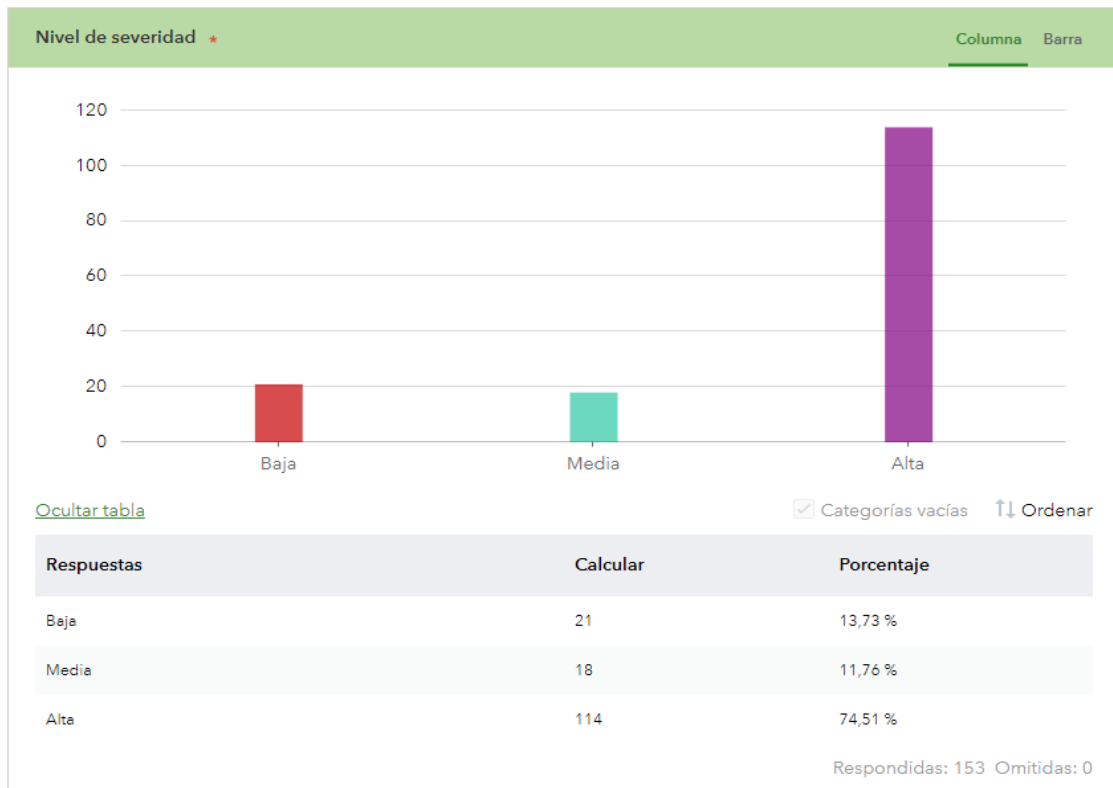


Figura 68: Porcentaje de los niveles de severidad encontrados.
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se han tenido en cuenta las fallas que son más frecuentes en las calzadas.

En la vía 1 podemos encontrar las fallas de parche de corte utilitario de severidad baja, media y alta, y peladura de severidad baja, media y alta. En la vía 2, encontramos con frecuencia parches de corte utilitario de severidad alta, media y baja, y fisura transversal como longitudinal de severidad alta, media y baja. De acuerdo a los resultados, se puede afirmar que en la vía 1 los parches de corte utilitario tienen mayores registros siendo 41.18%, fisura transversal de 26.14%, peladura de 9.15%, fisura longitudinal de 8.5%, fisura parabólica de 3.92%, baches de 3.27%, piel de cocodrilo de 2.61%, hundimiento de 2.61%, fisura de

borde de 1.31%, abultamiento de 0.65% y corrugación de 0.65%. Ver Figura 69.

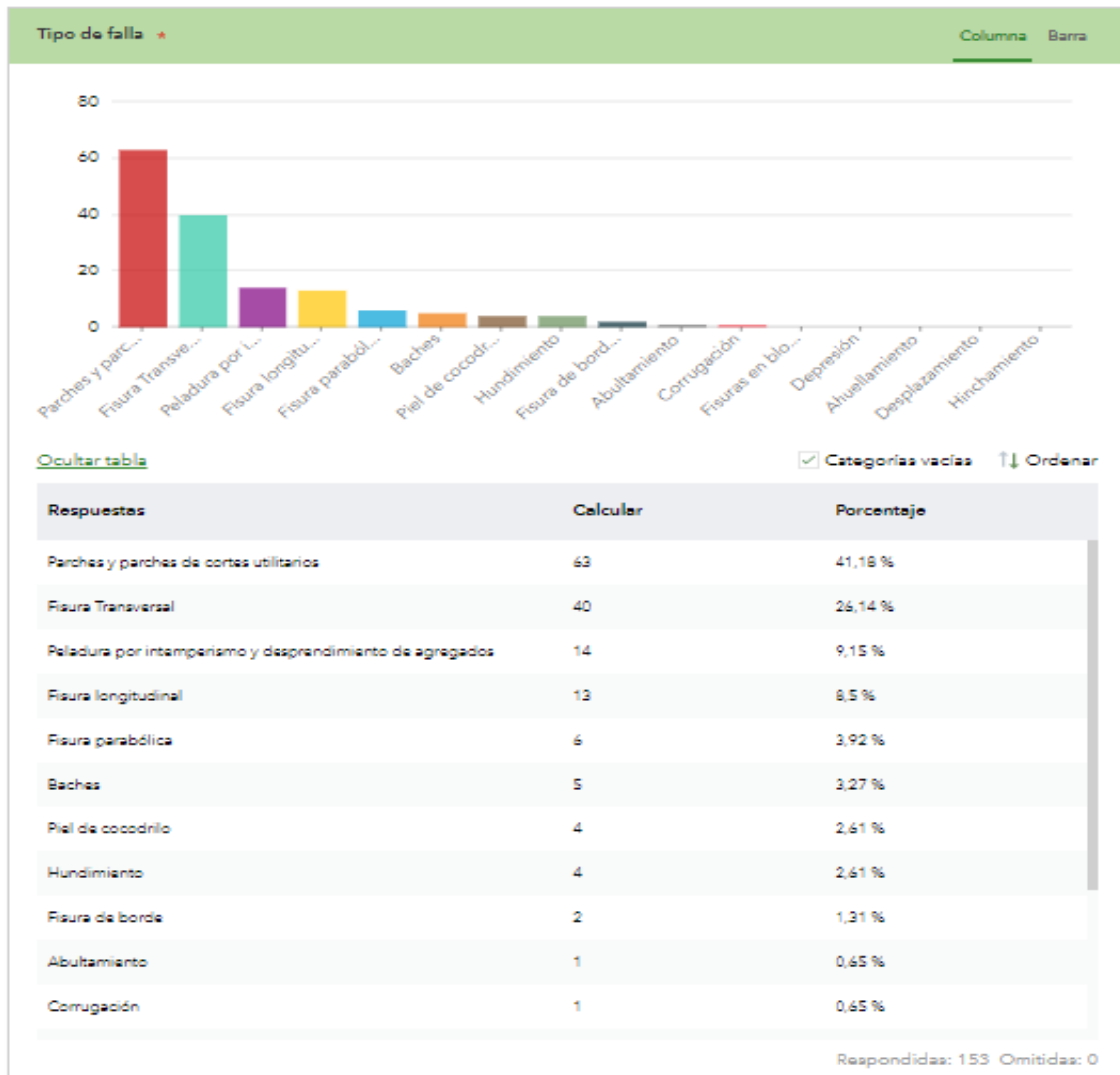


Figura 69: Porcentaje de los tipos de fallas en el pavimento.
Fuente: Elaboración propia.

Además, en la vía 1 se analizaron los registros obtenidos por el método dron, comparándolos con la data obtenida en campo(survey). Se logró determinar una tabla de confusión en donde el porcentaje promedio por omisión es -13.4% y el porcentaje promedio por comisión es 7.8%, resultando así un margen de precisión y toma de datos adecuada para la evaluación del pavimento, a lo largo de la vía se hallaron 68 registros por omisión y 74 registros por comisión Ver Tabla 9.

Tabla 8: Matriz de confusión UM1
Matriz de confusión UM1

Matriz de confusión						
Alias	Severidad	Und	Met.Dron	Met.Campo	Error %	Tipo
FT	H	m	0.570	0.58	-2	Omisión
FT	H	m	0.630	0.63	0	Comisión
FT	H	m	0.440	0.47	-6	Omisión
FL	H	m	0.640	0.6	7	Comisión
PE	L	m2	50.740	50.22	1	Comisión
PE	H	m2	23.210	23.85	-3	Omisión
FT	H	m	0.490	0.5	-2	Omisión
FT	H	m	0.350	0.34	3	Comisión
FL	H	m	0.680	0.66	3	Comisión
HU	L	m	0.570	0.5	14	Comisión
FT	H	m	4.19	4.1	2	Comisión
FT	H	m	4.11	4.08	1	Comisión
PA	L	m2	36.33	36	1	Comisión

Fuente: Elaboración propia.

4.8.1 Propuesta técnica y económica para la intervención de la vía

a) Consideraciones para la ejecución de los trabajos de intervención

La vía evaluada, Av. maestro peruano, se encuentra ahora en la fase D (descomposición total), esto se demuestra con el PCI general de la vía, clasificado como muy malo, lo que representa que los niveles de transitabilidad se aminora continuamente produciendo que los conductores sientan incomodidad y dificultad al manejar, lo cual origina incrementos de accidentes de tránsito en la vía. Debido a que la vía se encuentra en una fase de descomposición total ya no es factible realizar acciones correctivas, por lo que inevitablemente se tiene que realizar una reconstrucción.

Los tipos de intervención que se realizan sobre la vía, dependen del nivel de deterioro que se encuentra la calzada, evaluada mediante el método PCI (Tabla 6).

Por ello, se propone el tipo de intervención para cada uno de las muestras, pudiendo ser un mantenimiento rutinario si el estado del pavimento se encuentra en condiciones excelentes o muy buenas, un mantenimiento general (periódico y rutinario) si el pavimento se encuentra en una condición buena o aceptable, una rehabilitación si el pavimento tiene una condición muy pobre, o una reconstrucción si es que el pavimento se encuentra colapsado (muy malo o fallado).

Con lo indicado anteriormente, se detalla las acciones correctivas correspondientes a su tipo de mantenimiento de cada sector de la vía.

b) Intervención

La Vía 1 y Vía 2 tienen un PCI correspondiente a una condición de acción de grave y colapsado. Por lo que el tipo de intervención que le corresponde según la Tabla 6, es una reconstrucción, teniendo que hacer inicialmente, actividades como remoción de la carpeta asfáltica, reemplazo de la carpeta asfáltica, etc. Luego se realizarán continuamente, en intervalos de cada 3 meses aproximadamente, las actividades de mantenimiento rutinario, a fin de conservar el sector de la vía.

c) Descripción de las actividades

Las actividades que se deben realizar en cada uno de los sectores de la Av. Maestro Peruano dependen principalmente del tipo de intervención a ejecutar. A continuación, se describe los objetivos de cada una de las actividades que se realizará durante la intervención de la vía, así como también se detalla en que consiste cada uno de estos.

d) Remoción del pavimento existente con maquinaria

Esta actividad consiste en el cortado de la carpeta asfáltica existente en las áreas de reconstrucción total, sin alterar en lo posible la capa de base granular existente, permitiendo la conformación de la estructura del pavimento de acuerdo a lo indicado en los planos.

e) Imprimación asfáltica

Consiste en la aplicación de un riego asfáltico sobre la superficie de una base debidamente preparada, con el propósito de recibir una capa de pavimento asfáltico o de impermeabilizar y evitar la disgregación de la base construida. Puede implicar la aplicación de arena cuando sea requerido.

f) Pavimento de concreto asfáltico en caliente

Esta actividad consiste en la fabricación y colocación de la mezcla asfáltica en caliente sobre una superficie previamente preparada, compactada e imprimada, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con el proyecto.

g) Mantenimiento de marcas permanentes en el pavimento

Las marcas en el pavimento son líneas, símbolos o leyendas aplicadas sobre la superficie del pavimento con fines informativos, preventivos o reguladores del tránsito. Esta actividad consiste en conservar permanentemente las marcas sobre el pavimento asfáltico, la cual se limita a repintarlas debido a que se han desgastado por el uso y se requiere devolverle a su estado inicial. El objetivo de la actividad es realizar todos los trabajos necesarios para que se conserven en su mejor condición, con el fin de contribuir con la seguridad vehicular.

4.8.2 Presupuesto de intervención vial

a) Equipo de fresado

El equipo para la ejecución de los trabajos deberá ser una maquina fresadora con controles automáticos, capaz de fresar el pavimento asfaltico con una profundidad precisa de corte y con el perfil y la pendiente transversal establecidos. El equipo estará provisto de dispositivos para verter el material fresado directamente en camiones de transporte.

Su estado, potencia y capacidad productiva deben asegurar el correcto cumplimiento del plan de trabajo, la aplicación la veremos en la tabla 10.

Tabla 9
Costo unitario de Fresado de carpeta asfáltica

Partida	Fresado de carpeta asfáltica de 2"		Costo Unitario Directo Por:			
Rendimiento	M2/DIA	MO. 1,700.00		m2	Por:	4.33
	EQ. 1,700.00					
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano De Obra						
Capataz	Hh	0.25	0.0012	18.12	0.02	
Operario	Hh	1	0.0047	13.94	0.07	
Peón	Hh	2	0.0094	11.07	0.1	
						0.19
Equipos						
Herramientas Manuales	%MO		3	0.19	0.01	
Fresadora De Pavimentos 565 Hp	Hm	1	0.0047	805.14	3.78	
Cargador Sobre Llantas 125hp 2.5 Yd3	Hm	0.5	0.0024	147.73	0.35	
						4.14

Fuente: Elaboración propia.

b) Equipo de imprimado

Se requiere equipo de limpieza (barredoras mecánicas) previamente a la imprimación. El tanque imprimador de material bituminosa deberá cumplir exigencias mínimas que garanticen la aplicación uniforme y constante del material, el vehículo deberá estar provisto de un velocímetro o sensor calibrado y mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme de asfalto en sentido longitudinal, la aplicación la veremos en la Tabla 11.

Tabla 10
Costo unitario de Imprimación asfáltica

Partida	Imprimación Asfáltica					
Rendimiento 1,200.00	M2/DIA EQ. 1,200.00	MO.	Costo m2	Unitario	Directo	Por: 7.61
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano De Obra						
Capataz	Hh	0.1	0,0007	24.03	0.02	
Operario	Hh	1	0.0067	23.41	0.16	
Oficial	Hh	1	0.0067	18.5	0.12	
Peón	Hh	6	0.04	16.73	0.67	
						0.97
Materiales						
Asfalto Liquido Mc-30	Gal		0.379	12.5	4.74	
Arena Gruesa	M3		0.005	35.6	0.18	
						4.92
Equipos						
Herramientas Manuales	%Mo		3	0.97	0.03	
Compresora Neumática	Hm	1	0.0067	93	0.62	
Camión Imprimador	Hm	1	0.0067	160	1.07	
						1.72

Fuente: Elaboración propia.

c) Equipo de asfaltado

Se trabajará con pavimentadora, rodillo liso autopropulsado y rodillo neumático. La pavimentadora: De preferencia deberán estar equipadas con rueda para que ofrezcan alta movilidad para este tipo de proyectos que requieren mucho movimiento de la pavimentadora junto con el tren de rodaje con absorción de impactos que promueven la pavimentación uniforme. También de preferencia deben tener la opción de tracción en todas las ruedas para encargarse de aplicaciones más exigentes, también contar con un buen radio de giro para que se adopten en operaciones en espacios reducidos.

Rodillo Tándem: Debe ser un equipo de manejo y mantenimiento sencillos, garantizando un rendimiento máximo, optimizando la ergonomía y la sencillez de los paneles de control, deben tener arranque/parada “suave” para evitar la deformación o agrietamiento de las capas de asfalto. Deben tener alta frecuencia / baja amplitud para capas finas y la alta amplitud para capas gruesas, un factor importante para elegir el rodillo tándem es quien ofrezca la máxima visibilidad de los bordes laterales.

Rodillo Neumático: Este tipo de equipo igualmente deben ser equipadas de manera y mantenimiento sencillez de preferencia una alta capacidad de ejecutar la presión de los neumáticos, con el fin de cumplir con los requerimientos específicos de cada tipo de aplicación durante el trabajo de compactación, este equipo neumático también realiza funciones de amasado, garantizando la uniformidad y la densidad de la capa compactada, al tiempo que previene posibles daños. Con la utilización de estos rodillos se produce una fricción sobre los materiales. Durante la compactación, por lo que los gránulos pueden ser fuertemente comprimidos sin ser quebrados, debe tener un bajo centro gravitacional asegure una operación cómoda, segura y una velocidad de desplazamiento alta. La aplicación la veremos en la tabla 12.

Tabla 11
Costo unitario de carpeta asfáltica en caliente

Partida	Carpeta Asfáltica en caliente de 2"		Costo Unitario Directo Por:			54.16
Rendimiento 400.0000	M2/DIA EQ.	MO. 400.0000	m2			
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano De Obra						
Capataz	Hh	0.1	0.002	24.03	0.05	
Operario	Hh	1	0.02	23.41	0.47	
Oficial	Hh	2	0.04	18.5	0.74	
Peon	Hh	9	0.18	16.73	3.01	
					4.27	
Materiales						
Mezcla Asfáltica En Caliente	M3		0.075	497	37.28	
					37.28	
Equipos						
Herramientas Manuales	%Mo		5	4.27	0.21	
Rodillo Neumático Autopropulsado	Hm	1	0.02	160	3.2	
Rodillo Tandem Autopropulsado	Hm	1	0.02	160	3.2	
Pavimentadora Sobre Llantas	Hm	1	0.02	150	3	
Barredora Mecánica 10-20 Hp 7 P. Long.	Hm	1	0.02	150	3	
					12.61	

Fuente: Elaboración propia.

Para la pintura en el pavimento con la finalidad de lograr una adecuada seguridad vehicular y peatonal, concluimos llegando a los resultados de la tabla 13 y tabla 14.

Tabla 12
Costo unitario de pintura de líneas discontinuas

Partida		Pintura de líneas discontinuas e=0.10m				
Rendimiento	m/DIA	MO.	Costo unitario directo por: m			9.45
150.0000	EQ.	150.0000				
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Recurso						
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.1	0.0053	24.03	0.13	
Operario	hh	1	0.0533	23.41	1.25	
Peón	hh	4	0.2133	16.73	3.57	
					4.95	
Materiales						
Pintura De Tráfico	gal		0.012	69.91	0.84	
Microesferas De Vidrio	kg		0.055	29.57	1.63	
Disolvente	gal		0.005	36.86	0.18	
					2.65	
Equipos						
Herramientas Manuales	%MO		5	4.95	0.25	
Maquina Aplicadora De Pintura	hm	1	0.0533	30	1.6	
					1.85	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13 Costo unitario de marcas en el pavimento con microesferas
Costo unitario de marcas en el pavimento con microesferas

Partida Marcas en el pavimento con microesferas						
Rendimiento	M2/DIA	MO.	Costo Unitario Directo Por: m2			26.07
250.0000	EQ. 250.0000					
Descripción		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Recurso						
Mano De Obra						
Capataz		Hh	0.1	0.0032	24.03	0.08
Operario		Hh	1	0.032	23.41	0.75
Peón		Hh	1	0.032	16.73	0.54
						1.37
Materiales						
Pintura De Tráfico		Gal		0.06	69.91	4.19
Microesferas De Vidrio		Kg		0.6	29.57	17.74
Solvente Xilol		Gal		0.06	29.57	1.77
						23.7
Equipos						
Herramientas Manuales		%Mo		3	1.37	0.04
Maquina Aplicadora De Pintura		Hm	1	0.032	30	0.96
						1

Fuente: Elaboración propia.

Luego del procedimiento de datos obtenidos en las tablas anteriores, concluimos llegando a los resultados de la tabla 15.

Tabla 14
Costo unitario de construcción de reductor de velocidad

Partida Construcción de reductor de velocidad con pavimento flexible incl. pintado						
Rendimiento	M2/DIA	MO. 45.0000	Costo Unitario Directo Por:			177.52
EQ. 45.0000			m2			
Descripción		Unida	Cuadrill	Cantida	Precio	Parcial
Recurso		d	a	d	S/.	S/.
Mano De Obra						
Capataz		Hh	0.1	0.0178	24.03	0.43
Operario		Hh	1	0.1778	23.41	4.16
Oficial		Hh	2	0.3556	18.5	6.58
Peón		Hh	5	0.8889	16.73	14.87
						26.04
Materiales						
Mezcla asfáltica en caliente		m3		0.115	497	57.16
						57.16
Equipos						
Herramientas manuales		%MO		5	26.04	1.3
Rodillo neumático autopropulsado		Hm	1	0.1778	160	28.45
Rodillo tandem autopropulsado		Hm	1	0.1778	160	28.45
Pavimentadora sobre llantas		Hm	1	0.1778	150	26.67
						84.87
Subcontratos						
SC Pintado de rompemuelleres		m2		1	9.45	9.45
						9.45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15
Presupuesto de mantenimiento y conservación del pavimento

Presupuesto				
Descripción	Unidad	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
Calzada				545,708.58
Fresado De Carpeta Asfáltica De 2"	m2	7836	4.33	33,929.88
Imprimación Asfáltica	m2	7836	7.61	59,631.96
Carpeta Asfáltica En Caliente De 2"	m2	7836	54.16	424,397.76
Pintado De Pavimento (Símbolos Y Letras)	m2	653.32	26.07	17,032.05
Pintura Sobre El Pavimento (Discontinua)	m	457.8	9.45	4,326.21
Construcción De Reductor De Velocidad	m2	36	177.52	6,390.72
Costo Directo				545,708.58
Gastos Generales (10%)				54,570.86
Utilidad (10%)				54,570.86
Subtotal				654,850.30
Igv (18%)				117,873.05
Total Presupuesto				772,723.35

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Se observa que los valores del metrado de fallas entre el método de fotogrametría aérea y el método de inspección visual en campo son bastante cercanos, lo cual valida el método de fotogrametría aérea como una alternativa de evaluación superficial del pavimento mediante imágenes georreferenciadas.

En relación a los rendimientos para el relevamiento de las fallas en campo, se evaluaron 9 unidades de muestra en 9 horas y media con el método de inspección de fallas en campo con un personal constituido por 2 personas. Mientras que, con el método de fotogrametría aérea se evaluó toda la vía de 653 metros en sólo 9 minutos con un personal conformado por 1 operador/piloto y un asistente. Esto demuestra una gran ventaja al emplear la fotogrametría aérea con respecto al método de inspección de fallas en campo al poder evaluar completamente toda la vía en corto tiempo, sin determinar unidades mínimas de muestra o muestras adicionales, lo que genera menos costo de inspección.

No fue necesario cerrar parcial o totalmente la vía para ejecutar el vuelo en campo si bien es posible la aparición de vehículos en las imágenes obtenidas, éstos pueden ser modificados en la ortofoto, a fin de obtener una vía completamente despejada para la identificación de las fallas. Esto permite una evaluación sin generar tráfico en la vía y sin poner en riesgo la vida de los evaluadores.

La obtención de imágenes de alta resolución permite la identificación de las fallas del pavimento de manera rápida y segura; además, con los productos obtenidos se pueden determinar las medidas de longitud, área y profundidad para establecer su severidad y densidad. Es importante mencionar que la data relevada puede ser analizada cuantas veces sea necesaria sin necesidad de realizar otro vuelo, además, permite en el tiempo poder observar la evolución y aparición de nuevas fallas para tomar las decisiones correctivas adecuadas.

Por lo tanto, el relevamiento de información mediante fotografías obtenidas mediante fotogrametría aérea, permite la interpretación con fines de establecer estrategias de mantenimiento y rehabilitación para beneficio de los usuarios.

CONCLUSIONES

1. Los conceptos presentados pretenden generar un diagnóstico rápido que ayude a optimizar la vida útil del pavimento, teniendo como base principal el adecuado mantenimiento vial, tanto de la población como los fondos públicos. Con ello se concluye que, mediante el uso en conjunto de los softwares y su ejecución en los procedimientos detallados en la presente investigación, fue posible identificar además de cuantificar muestras de pavimento para cada mapa realizado.
2. El uso del vehículo aéreo no tripulado permite el levantamiento de información en corto tiempo, sin interrumpir el tráfico ni poner en riesgo la vida de los inspectores en comparación con la inspección de fallas en campo, el método de fotogrametría aérea nos permite reducir el personal de trabajo en comparación con el método de inspección de fallas en campo y por consecuente minimiza los costos de inspección.
3. La información relevada mediante fotogrametría aérea puede ser reproducible en cualquier momento con el fin de analizar la evolución de las fallas en el tiempo y establecer las medidas preventivas de conservación. Para ello el procesamiento de las fotografías georreferenciadas permiten ver las fallas en el pavimento satisfactoriamente mediante los resultados que fueron una ortofoto, un modelo 3D y un modelo digital de superficie (MDS).
4. La determinación de estado del pavimento está determinada de acuerdo al PCI a la que se encuentra expuesta la vía, sea asfalto o concreto; se logró para la investigación el nivel de PCI con una condición Muy Malo con un valor de 11.46, obteniendo así un estado de pavimento correspondiente al nivel grave y colapsado.
5. Del costo calculado según el nivel de intervención requerido, se concluye que el costo de la rehabilitación propuesta en la Av. Maestro Peruano demanda mayor inversión por la longitud que esta abarca; en cambio sí se realiza mantenimiento rutinario cada 3 meses demandaría una menor inversión. Por lo que la Municipalidad Distrital de Comas, que es jurisdicción de la Av. Maestro

Peruano, debería programar y ejecutar un correcto plan de mantenimiento y no dejar transcurrir un periodo largo de tiempo sin intervenir hasta que se deteriore totalmente, ya que ocasiona mayores gastos innecesarios debido a una mala gestión económica.

RECOMENDACIONES

1. Para mitigar el estado del pavimento calificado como Muy Alto, es de índole necesario que las instituciones pertinentes y funcionarios públicos se encarguen de cumplir las normas establecidas de una programación de conservación vial bien estructurado, para así evitar mayores gastos elaborando evaluaciones rutinarias en la vía no solo para pavimentos si no para todo tipo de estructuras que podrían generar un accidente, además de actualizar cada estudio en relación al mantenimiento vial, ya que no se tiene una base actualizada de datos.
2. En concordancia con el estudio, sobre la elaboración de mapas de PCI que nos permitirá prevenir el desgaste rápido de la vía, recomendamos, según los objetivos específicos, en materia de condición funcional y estructural, y planes de prevención, lo siguiente: Los mapas temáticos deben contener información específica, es decir no se recomienda representar todo el dato en un solo mapa para evitar una mala interpretación de los resultados. Es importante definir los campos de atributos necesarios para organizar de manera adecuada toda la información recogida de tal manera que su procesamiento y análisis sea eficiente y ordenada.
3. Es recomendable realizar el plan de vuelo con anticipación considerando la geometría, topografía y nivel de tránsito vehicular del lugar a evaluar, de tal manera de elegir la altura de vuelo apropiada. Se recomienda ejecutar el vuelo en días y horas de poco tránsito vehicular, entre las 10:00 am y 2:00 pm, de manera que las imágenes obtenidas no sean afectadas por sombra. Se sugiere realizar la inspección de fallas en periodos de 6 a 12 meses, con la finalidad de detectar la aparición de nuevos daños o incremento de severidad.
4. Se recomienda realizar una inspección visual de fallas en campo en horarios de mañana o tarde y cuando no llueva para poder visualizar las fallas y para poder medir la profundidad de la falla, además para realizar una óptima fotogrametría aérea se recomienda ir a la vía de estudio con el objetivo de planificar el vuelo tomando en cuenta el nivel de tránsito vehicular, número de pisos de edificaciones y obstáculos como árboles y vehículos estacionados en la vía.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Regner Raul Parra Lavado (2019). Modelo Analítico de los parámetros para la fotogrametría con drones en obras viales. Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1121>

Julian Aguirre de Mata (2016). Calibración geométrica de cámaras no métricas, Estudio de metodologías y modelos matemáticos de distorsion. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=116352>

Chuquizuta Zuta, Clarita Mercedes (2021). Componentes catastrales de mobiliario urbano aplicando sistema de información geográfica en la asociación rosa luz I. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF_9b8c12dcc0256d9ecf4a720ba18db2c0

Yesid Zafra Granados (2018). Manual para el postproceso de imágenes obtenidas a partir de una aeronave tripulada remotamente (Drone) en los softwares Agisoft Photoscan y Pix4d. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14055/ZafraGranadosYesidRomairoAnexo-1.pdf;sequence=2>

AASHTO (1962). Definición de rangos para la clasificación estructural y funcional de la red vial nacional de Costa Rica. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/7269/6946>

Manual PCI ASTM D 6433 (1999). Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos. Obtenido de <https://www.studocu.com/en-us/document/pontificia-universidad-catolica-del-peru/teoria-general-del-lenguaje/409330160-manual-pci-astm-d-6433-pdf/11594152>

Edgar Daniel Rodríguez Velásquez (2009). Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis montero, distrito de castilla. obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1350/ICI_180.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Christian Rolando Armijos Salinas (2009). Evaluación superficial de algunas calles de la ciudad Loja. obtenido de <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1484/3/Tesis.pdf>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Elaboración de mapas de PCI para la planificación del mantenimiento y conservación del pavimento, Av. Maestro Peruano km 0+000 a km 0+653, distrito de Comas	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
<p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <p>Planificación del mantenimiento y conservación del pavimento</p> <p>VARIABLE INDEPENDIENTE : Elaborar Mapas de PCI</p>	<p>¿En qué medida incide la elaboración de mapas temáticos del PCI para la planificación del mantenimiento y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, Distrito de Comas?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <p>PE1: ¿En qué medida el análisis de las fotografías permite obtener datos de las fallas del pavimento en Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653?</p> <p>PE2: ¿En qué medida el análisis de las fotografías permite obtener datos de las fallas del pavimento en Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653?</p> <p>PE3: ¿En qué medida las plataformas geomáticas permiten elaborar mapas temáticos del PCI en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653?</p> <p>PE4: ¿Qué medidas de prevención y conservación de pavimento se pueden plantear para reducir los daños en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653?</p>	<p>Elaborar mapas temáticos del PCI para la planificación del mantenimiento y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, Distrito de Comas.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>OE1: Obtención de las fotografías de dron de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653 para recolectar información fotogramétrica aérea</p> <p>OE2: Realizar el análisis de la restitución fotogramétrica, complementando la información con fotografías digitales, para la identificación de las fallas en el pavimento de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, Distrito de Comas.</p> <p>OE3: Calcular el Índice de Condición de Pavimento (PCI) y elaborar mapas temáticos en una plataforma geomática de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653</p> <p>OE4: Determinar el tipo de mantenimiento y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653</p>	<p>A través de la elaboración de mapas PCI se logrará planificar el mantenimiento y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>HE1: Mediante las fotografías de dron de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, se logrará recolectar información fotogramétrica aérea</p> <p>HE2: A través del análisis de las fotografías aéreas y digitales de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653, se logrará obtener datos de las fallas en el pavimento.</p> <p>HE3: Mediante el cálculo del índice de condición de pavimento se logrará indicar el nivel de PCI en los mapas elaborados en una plataforma geomática de la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653</p> <p>HE4: Mediante el PCI se logrará determinar el tipo de mantenimiento y conservación del pavimento en la Av. Maestro Peruano, km 0+000 a km 0+653</p>
Variable intervinientes Registro de fallas en campo, fotogrametría aérea, mapas de PCI, intervención de vía			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Mapa del PCI



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Project **Map** Insert Analysis View Edit Imagery Share Feature Layer Labeling Data

Clipboard Navigate Layer Selection Inquiry Labeling Offline

Contents

Search

Drawing Order

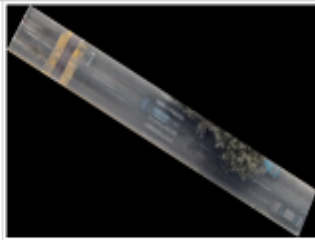
- Muestra1
- via
 - Clasificación
 - Fallado
 - Muy malo
 - Malo
 - Regular
 - Bueno
 - Muy bueno
 - Excelente
 - muestra1.jpg
 - RGB
 - Red: Band_1
 - Green: Band_2
 - Blue: Band_3
 - V2M1
 - RGB
 - Red: v2m1c1
 - Green: v2m1c2
 - Blue: v2m1c3
 - muestra3.jpg
 - RGB
 - Red: Band 1

Pop-up

via (1)

[AREA]

via - (AREA)

Severidad8	<Null>
Densidad8	<Null>
Falla9	<Null>
Severidad9	<Null>
Densidad9	<Null>
Foto	

1 of 1 | 77.0574501°W 11.9651002°S

Pop-up

via (1)

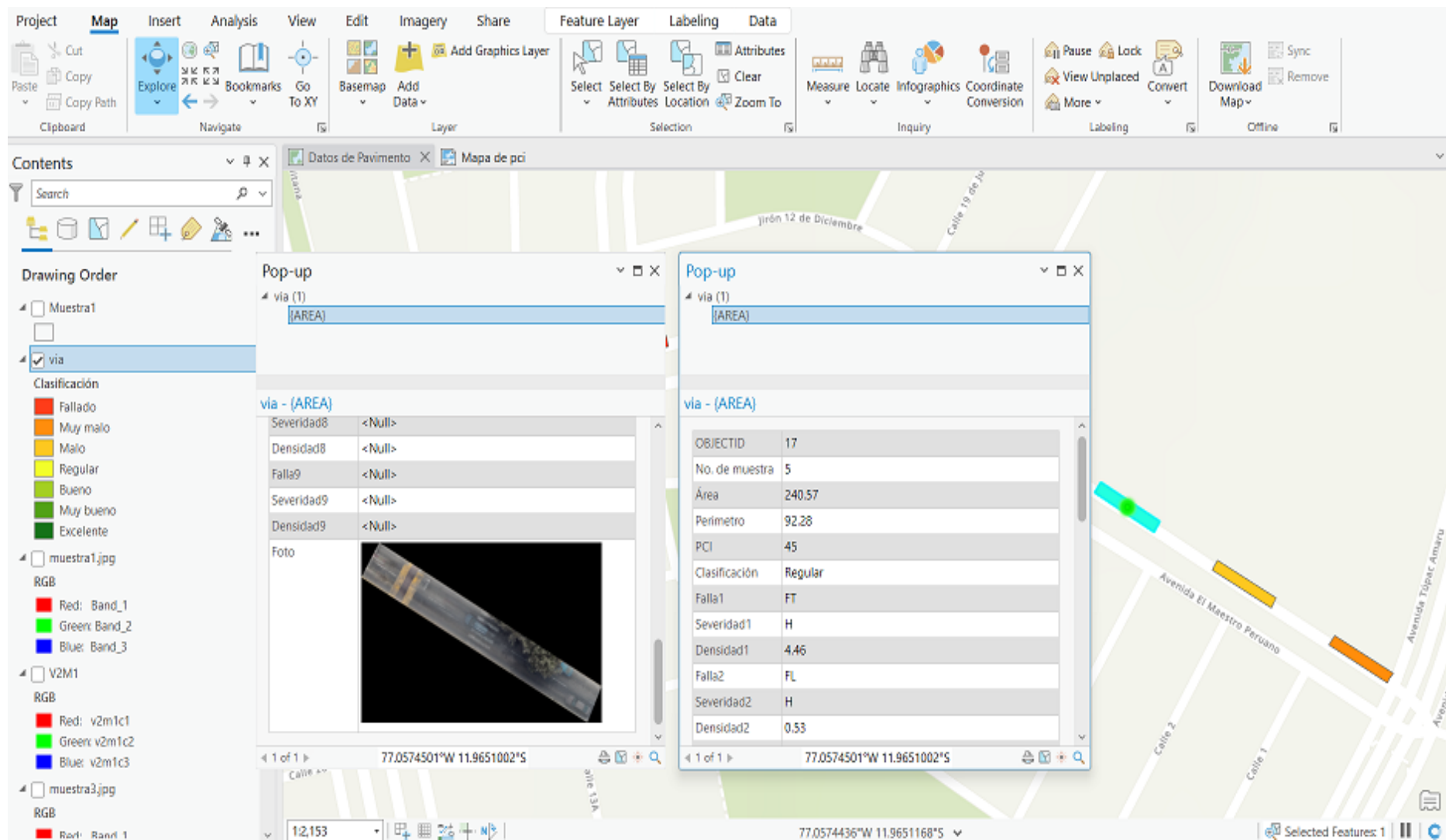
[AREA]

via - (AREA)

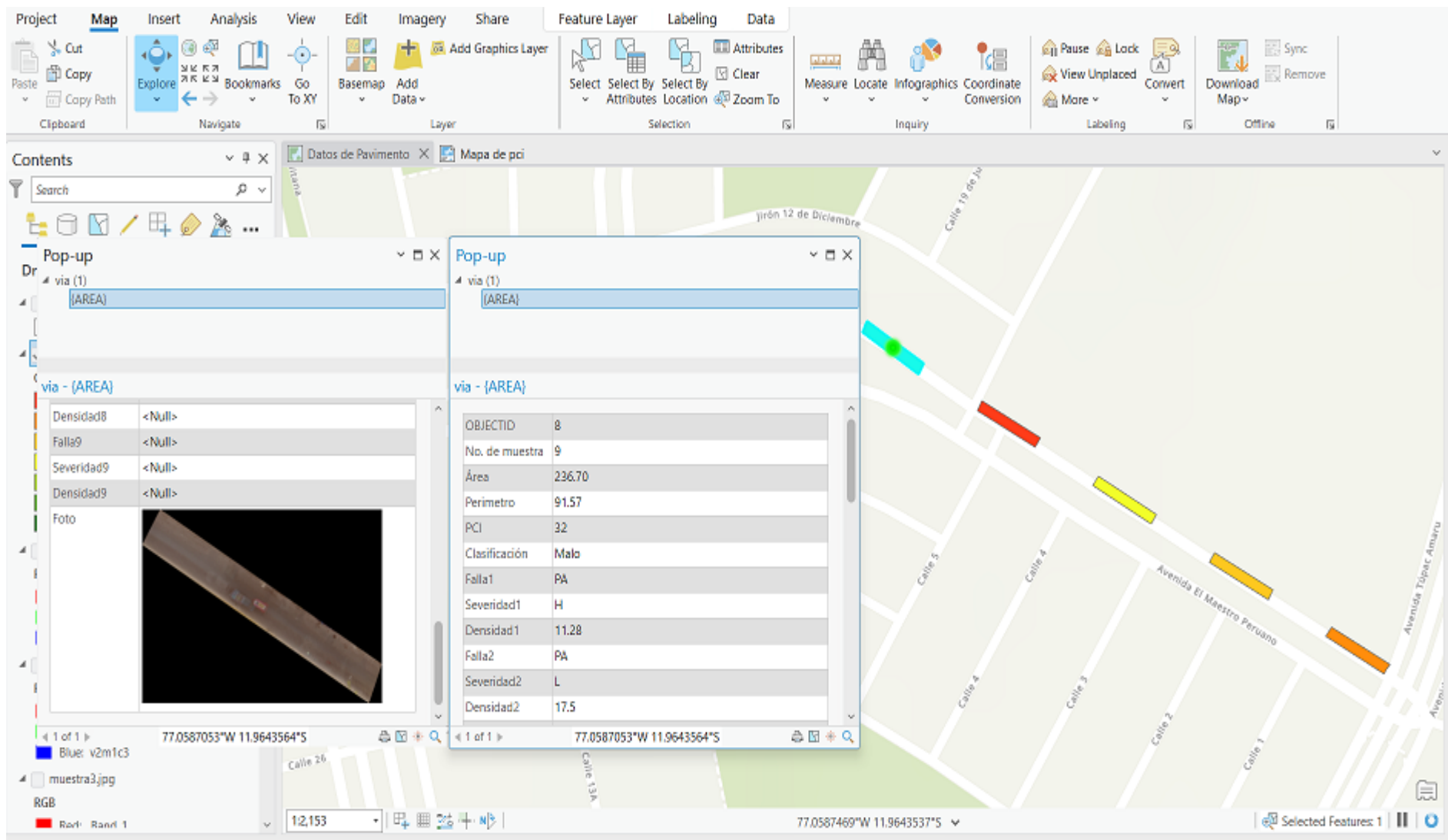
OBJECTID	17
No. de muestra	5
Área	240.57
Perimetro	92.28
PCI	45
Clasificación	Regular
Falla1	FT
Severidad1	H
Densidad1	4.46
Falla2	FL
Severidad2	H
Densidad2	0.53

1 of 1 | 77.0574436°W 11.9651168°S

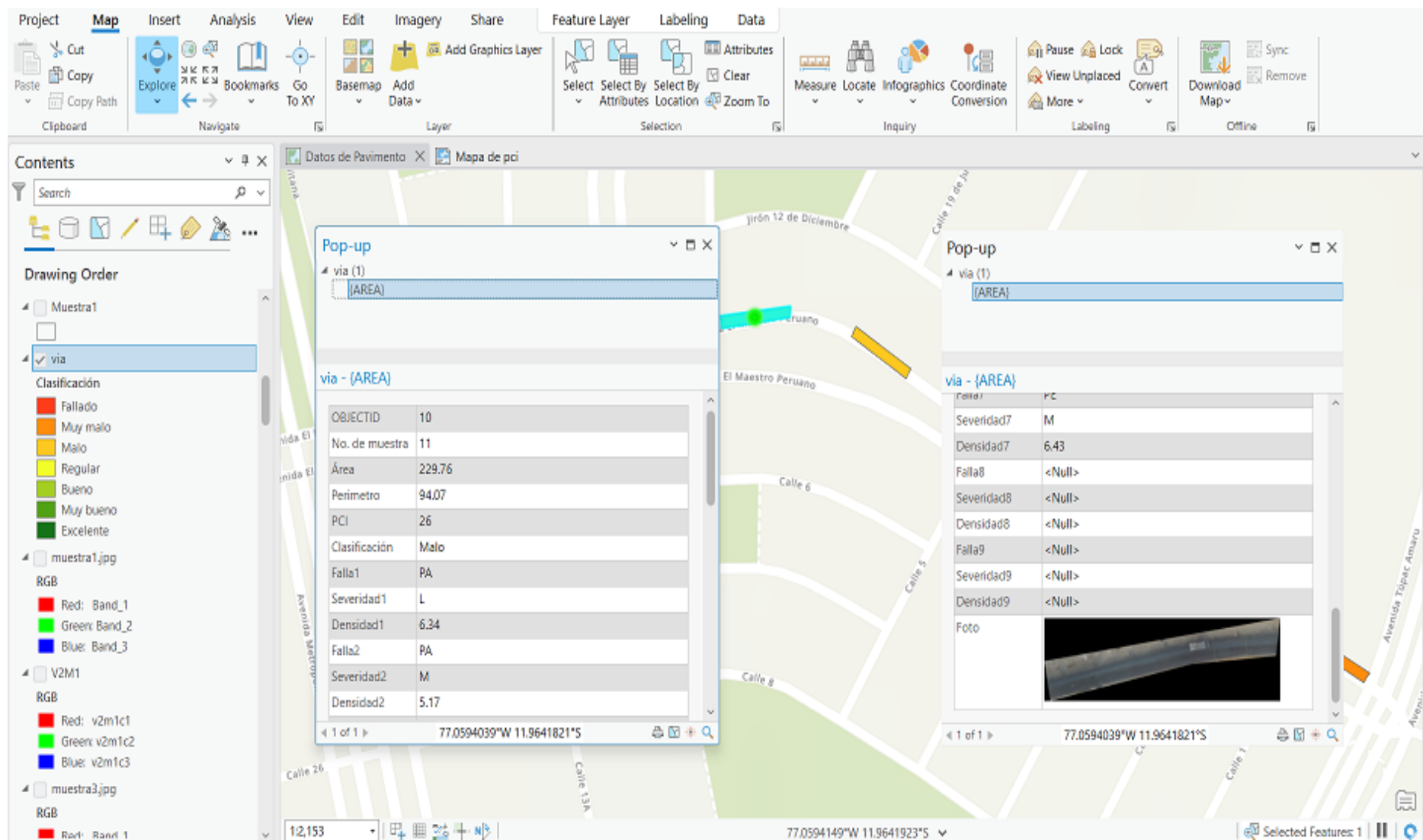
Selected Features: 1



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

The screenshot displays the ArcGIS Desktop interface. The main map area shows a street network with several road segments highlighted in orange and yellow. A 'Pop-up' window is open over a selected road segment, displaying the following data:

via - (AREA)	
OBJECTID	12
No. de muestra	13
Área	238.73
Perimetro	91.63
PCI	0
Clasificación	Fallado
Falla1	PA
Severidad1	H
Densidad1	36.62
Falla2	FT
Severidad2	H
Densidad2	1.03

The interface also includes a 'Contents' pane on the left showing a legend for 'via - (AREA)' with various attributes like 'Severidad7', 'Densidad7', 'Falla8', etc. The status bar at the bottom indicates the current location as 77.0600851°W 11.9643315°S and shows 'Selected Features: 1'.

Fuente: Elaboración propia

The screenshot displays the ArcGIS Desktop interface. The top ribbon includes tabs for Project, Map, Insert, Analysis, View, Edit, Imagery, Share, Feature Layer, Labeling, and Data. The main map area shows a street network with a selected feature highlighted in cyan. Two pop-up windows are open, providing detailed information about the selected feature.

Pop-up 1 (Left):

via - (AREA)	
OBJECTID	16
No. de muestra	17
Área	240.60
Perimetro	92.29
PCI	28
Clasificación	Malo
Falla1	PA
Severidad1	H
Densidad1	19.31
Falla2	FT
Severidad2	H
Densidad2	11.7

Pop-up 2 (Right):

via - (AREA)	
Severidad7	<Null>
Densidad7	<Null>
Falla8	<Null>
Severidad8	<Null>
Densidad8	<Null>
Falla9	<Null>
Severidad9	<Null>
Densidad9	<Null>
Foto	

The interface also includes a Contents pane on the left with a Drawing Order list, a search bar, and various map navigation tools. The status bar at the bottom shows the current map scale (1:12,153) and coordinates (77.0615469°W 11.9646131°S).

Fuente: Elaboración propia

Project Map Insert Analysis View Edit Imagery Share Feature Layer Labeling Data

Clipboard Navigate Layer Selection Inquiry Labeling Offline

Contents

Datos de Pavimento X Mapa de pci

Search

Drawing Order

- Muestra1
- via
 - Clasificación
 - Fallado
 - Muy malo
 - Malo
 - Regular
 - Bueno
 - Muy bueno
 - Excelente
- muestra1.jpg
 - RGB
 - Red: Band_1
 - Green: Band_2
 - Blue: Band_3
- v2M1
 - RGB
 - Red: v2m1c1
 - Green: v2m1c2
 - Blue: v2m1c3
- muestra3.jpg
 - RGB
 - Red: Band_1

Pop-up

via (1)

[AREA]

via - {AREA}


OBJECTID	14
No. de muestra	15
Área	239.15
Perimetro	91.79
PCI	15
Clasificación	Muy malo
Falla1	PA
Severidad1	H
Densidad1	41.19
Falla2	FT
Severidad2	H
Densidad2	19.96

Pop-up

via (1)

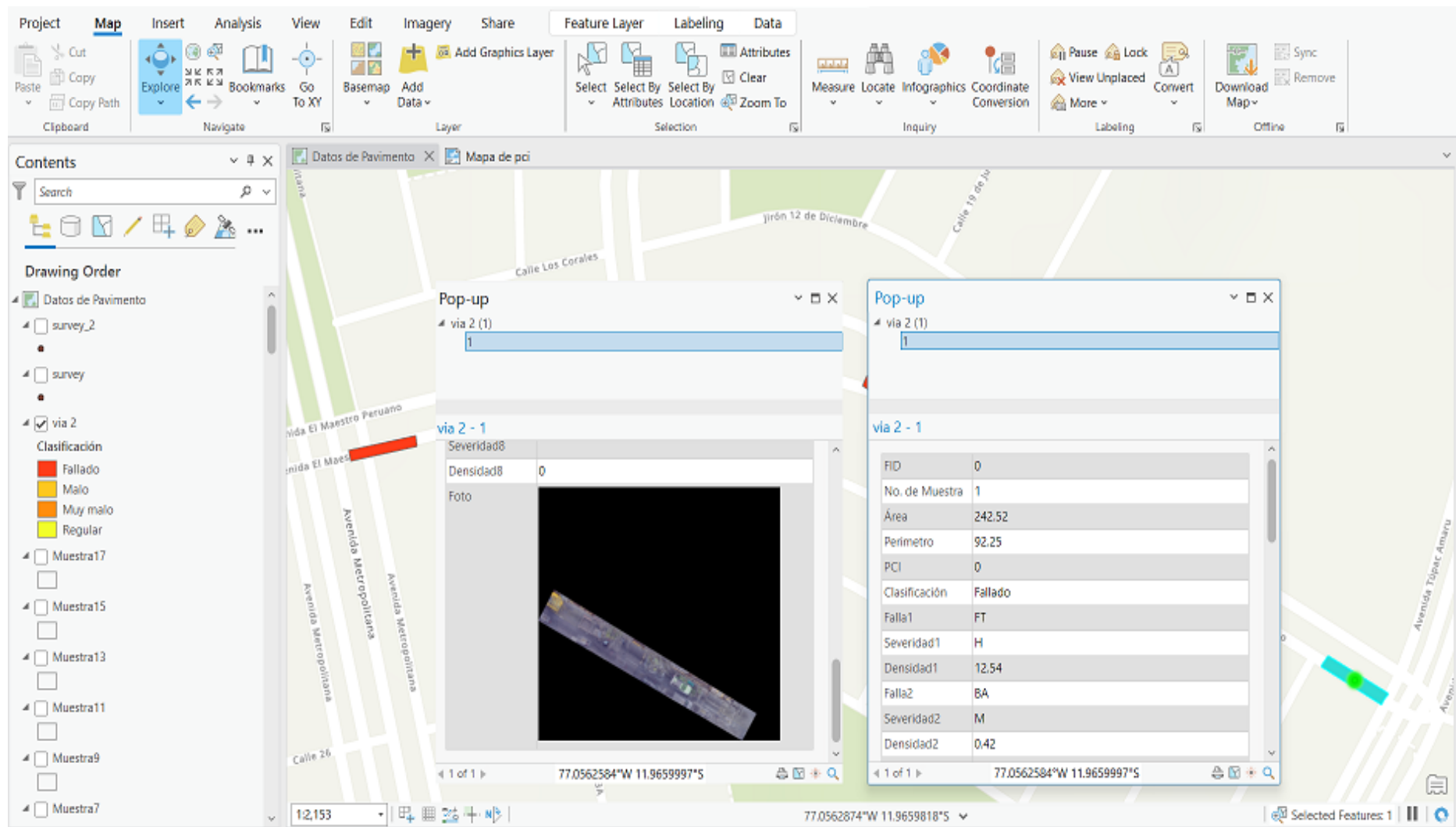
[AREA]

via - {AREA}

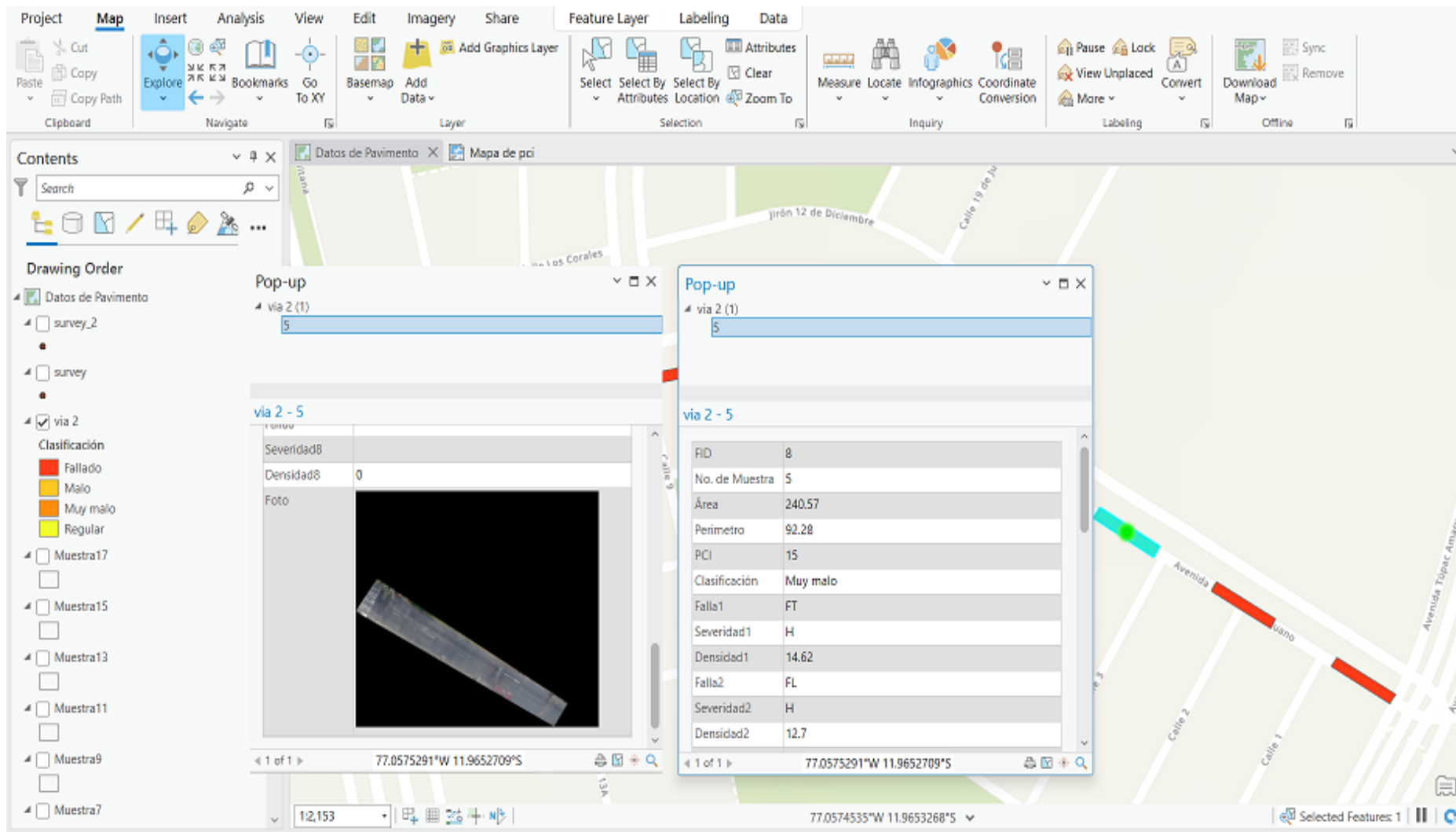
Severidad7	<Null>
Densidad7	<Null>
Falla8	<Null>
Severidad0	<Null>
Densidad8	<Null>
Falla9	<Null>
Severidad9	<Null>
Densidad9	<Null>
Foto	

12,153 77.0607930°W 11.9644663°S Selected Features: 1

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

The screenshot displays the ArcGIS Desktop interface. The main map area shows a street network with several road segments highlighted in red, orange, and yellow, indicating different pavement conditions. Two pop-up windows are open over the map:

- Left Pop-up (via 2 - 7):** Shows a photo of a road surface with a white line drawn across it. The photo is labeled 'Foto' and has a 'Severidad8' of 0 and 'Densidad8' of 0.
- Right Pop-up (via 2 (1)):** Shows a table of attributes for a selected feature. The table contains the following data:

Attribute	Value
FID	2
No. de Muestra	7
Área	237.78
Perímetro	91.37
PCI	0
Clasificación	Fallado
Falla1	PE
Severidad1	M
Densidad1	0.85
Falla2	FL
Severidad2	H
Densidad2	18.71

The interface also shows a 'Contents' pane on the left with a 'Drawing Order' list and a legend for pavement classification (Fallado, Malo, Muy malo, Regular). The status bar at the bottom indicates the current scale is 1:2,153 and the selected features count is 1.

Fuente: Elaboración propia

The screenshot displays the ArcGIS Desktop interface. The top ribbon includes tabs for Project, Map, Insert, Analysis, View, Edit, Imagery, Share, Feature Layer, Labeling, and Data. The main map area shows a street network with several road segments highlighted in red and orange. Two pop-up windows are overlaid on the map. The left window, titled 'Drawing Order', shows a table with columns for 'Densidad7' and 'Falla8'. The right window, titled 'Pop-up', shows a table with columns for 'FID', 'No. de Muestra', 'Área', 'Perimetro', 'PCI', 'Clasificación', 'Falla1', 'Severidad1', 'Densidad1', 'Falla2', 'Severidad2', and 'Densidad2'. The map interface includes a 'Contents' pane on the left, a search bar, and various navigation tools. The status bar at the bottom indicates the current location coordinates and the number of selected features (1).

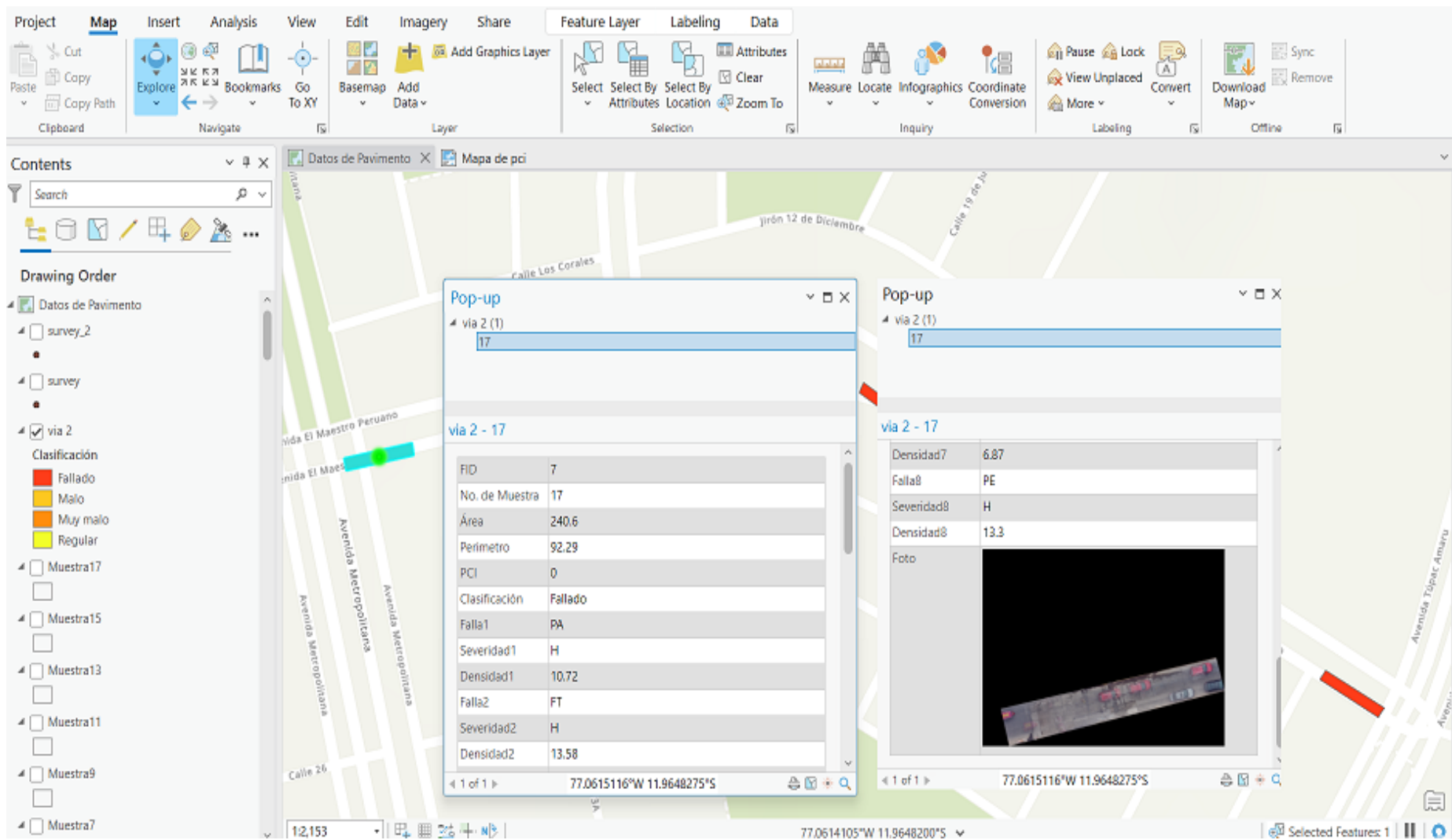
via 2 (1)	Densidad7	Falla8
13	0	

via 2 (1)	Densidad7	Falla8
13	0	

via 2 - 13	Falla8	Densidad8	Foto
	Fallado	0	

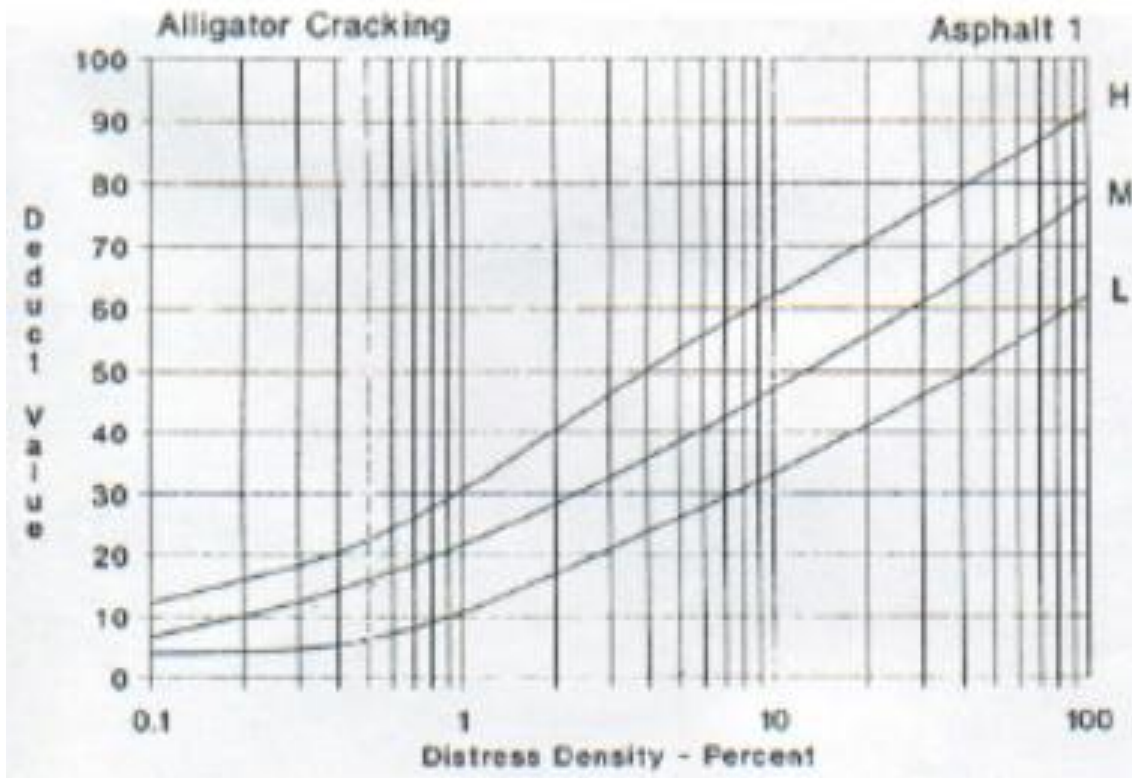
via 2 - 13	FID	No. de Muestra	Área	Perimetro	PCI	Clasificación	Falla1	Severidad1	Densidad1	Falla2	Severidad2	Densidad2
	5	13	238.73	91.63	0	Fallado	PE	H	59.96	PA	H	19.83

Fuente: Elaboración propia

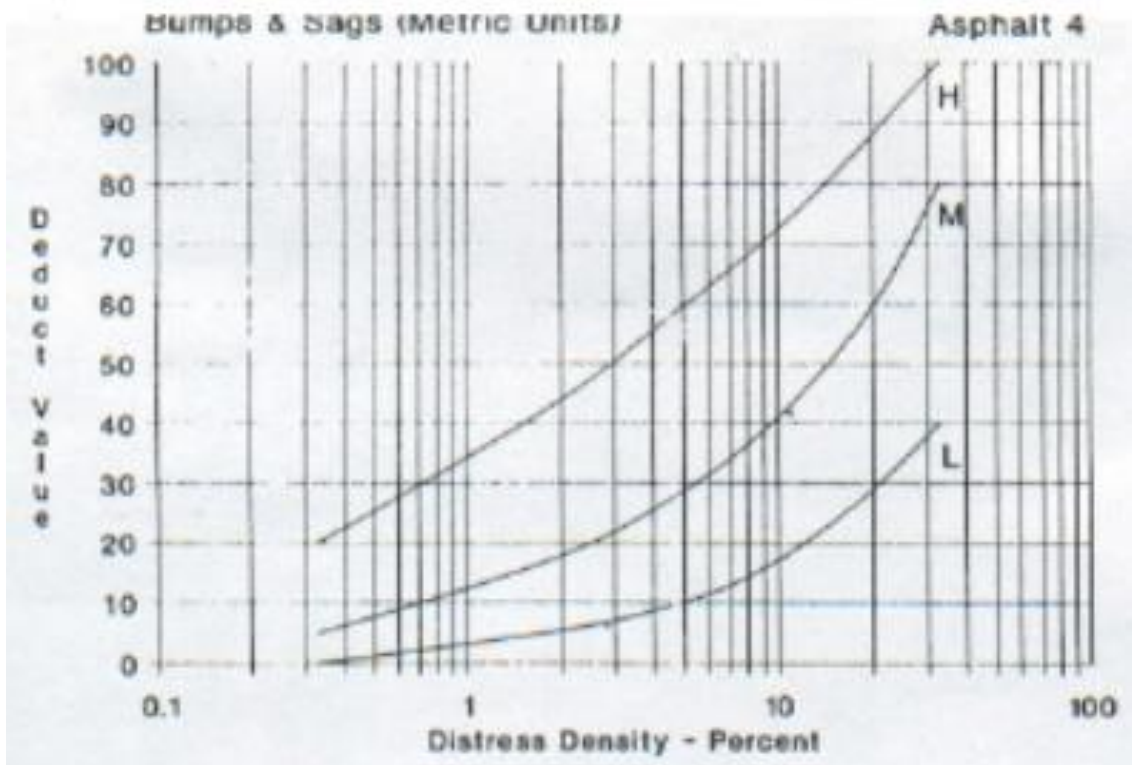


Fuente: Elaboración propia

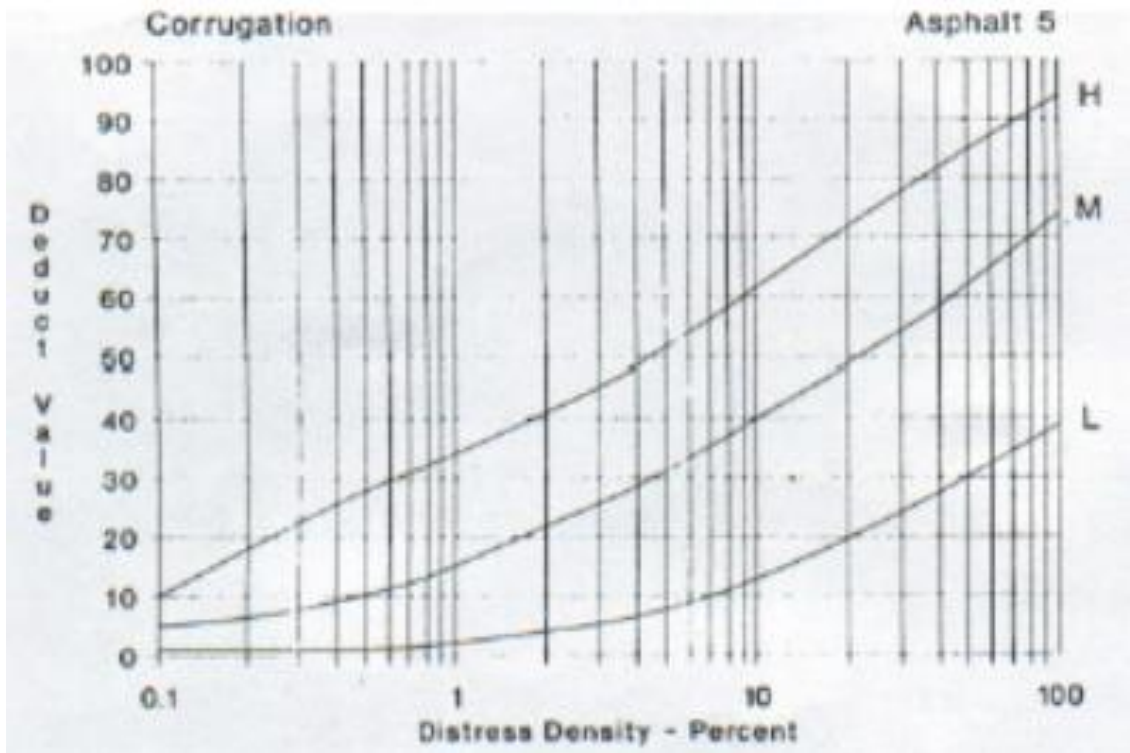
Anexo 3: Curvas de valor deducido



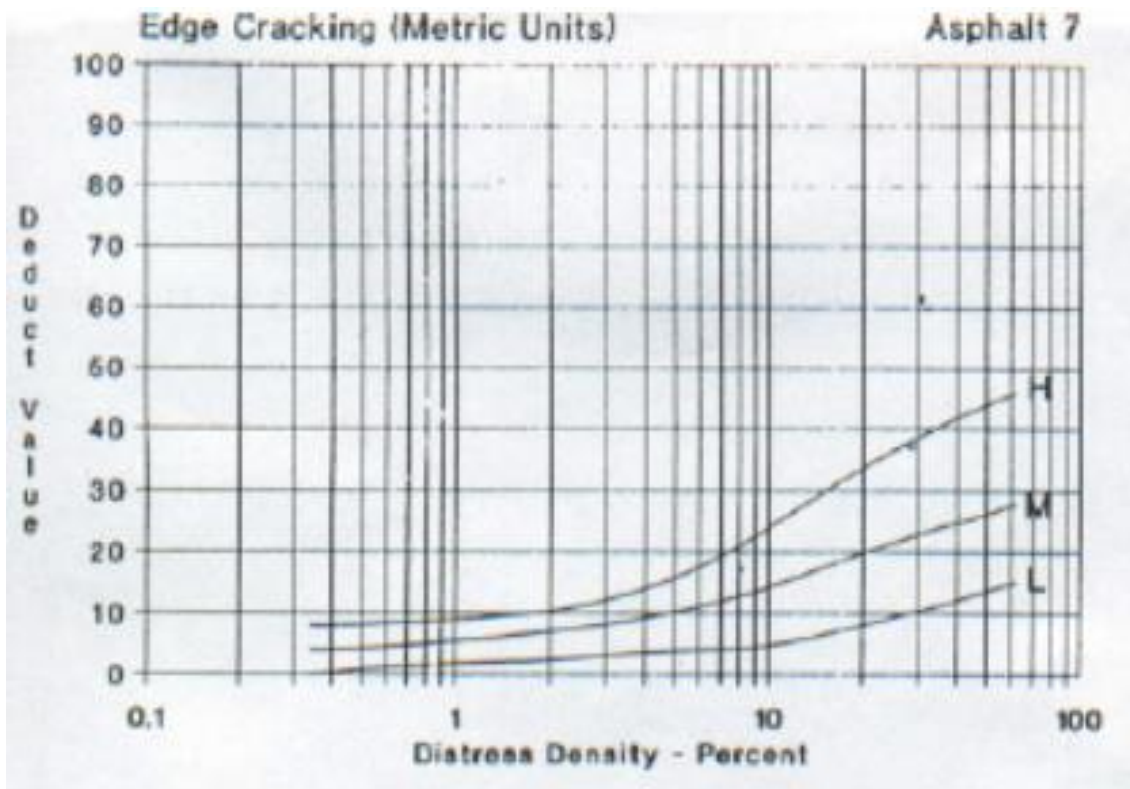
Fuente: American Society for Testing and Materials, 2004.



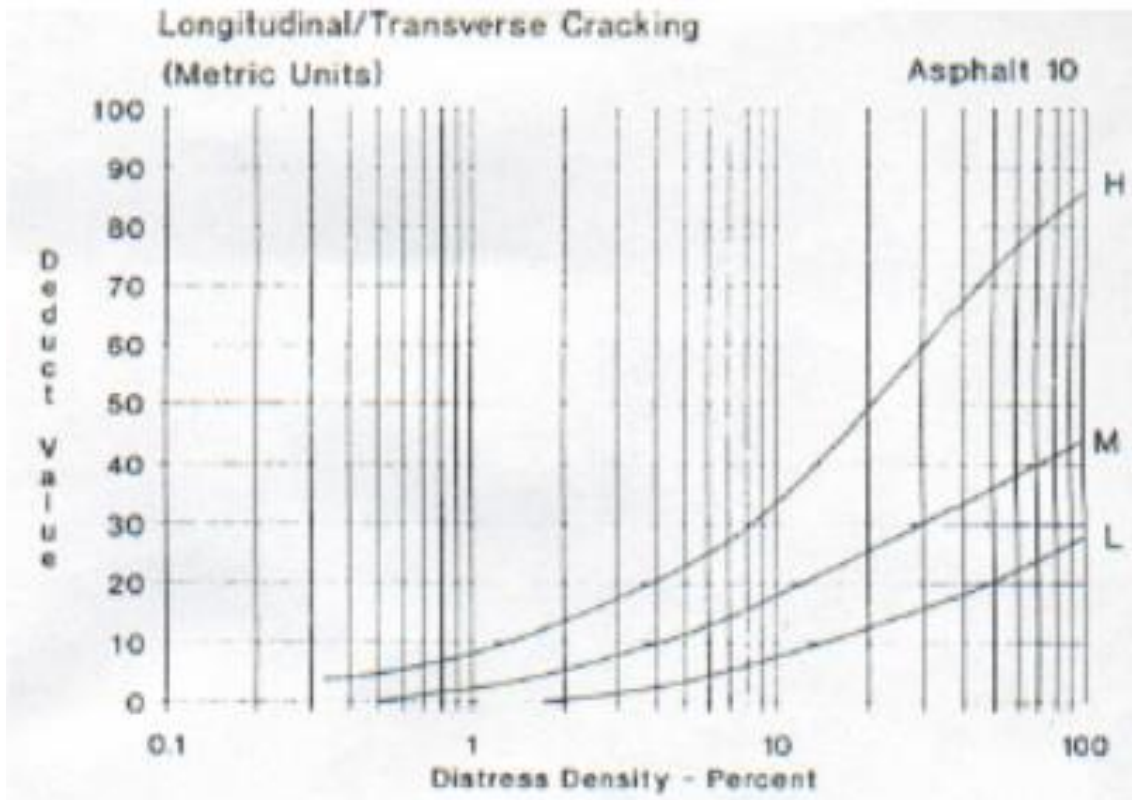
Fuente: American Society for Testing and Materials, 2004.



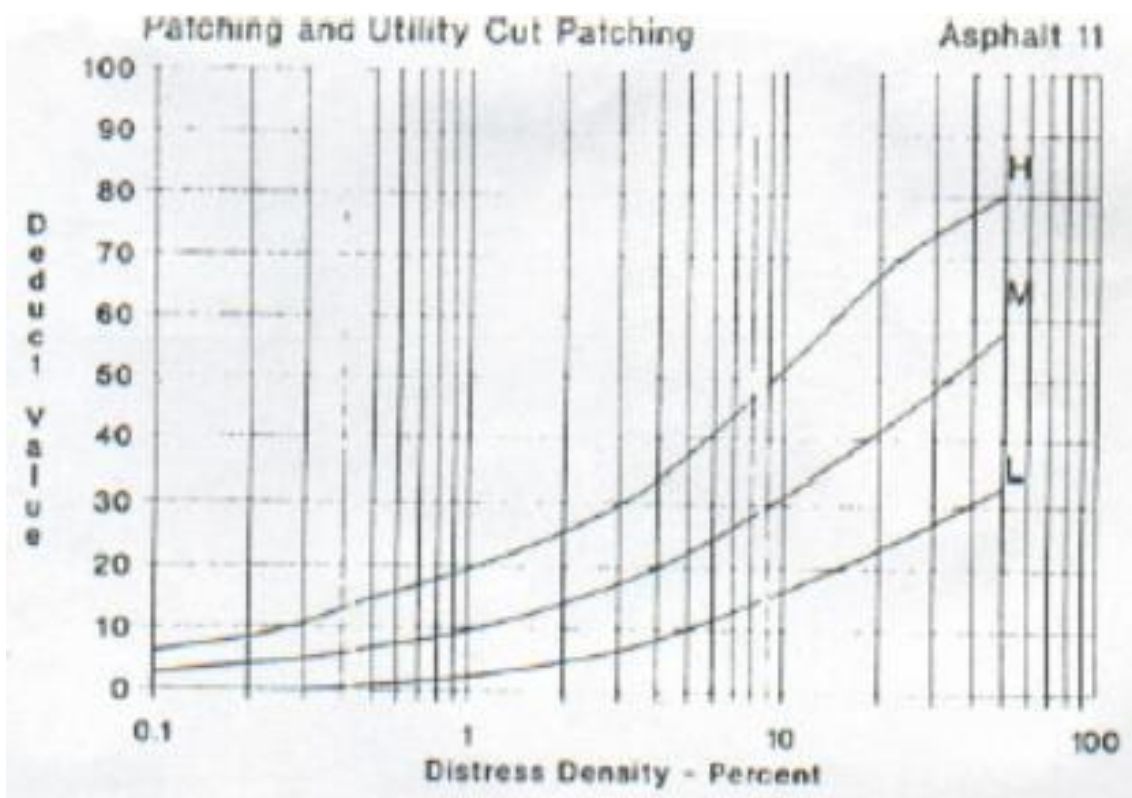
Fuente: American Society for Testing and Materials, 2004.



Fuente: American Society for Testing and Materials, 2004.



Fuente: American Society for Testing and Materials, 2004.



Fuente: American Society for Testing and Materials, 2004.

Anexo 4: Tabla de registro de fallas del pavimento

ObjectID	Nivel de severidad	Tipo de falla	Muestra	unidad de medida	Medida	Profundidad (mm)	Diametro (cm)	Ancho (cm)	Nivel de severidad	x	y
21	Alta	Fisura de borde	1	ml	2.27ml				Alta	-77.0558	-11.9661
22	Media	Peladura_por_intemperismo_y_des	1	m2	52.2m2				Media	-77.0557	-11.9662
23	Alta	Fisura Transversal	1	ml	0.85ml			1cm	Alta	-77.0558	-11.9661
24	Alta	Fisura Transversal	1	ml	2.74ml			0.8cm	Alta	-77.0561	-11.9659
25	Media	Parches y parches de cortes uti	1	m2	5.71m2				Alta	-77.056	-11.9659
26	Alta	Fisura Transversal	1	ml	0.46ml			0.6cm	Alta	-77.0562	-11.9658
27	Baja	Peladura por intemperismo y des	1	m2	54.15m2				Baja	-77.0562	-11.9659
28	Media	Baches	1	Opción 3		30mm	44cm		Media	-77.0564	-11.9659
29	Media	Baches	1	Opción 3		10mm	38cm		Media	-77.0564	-11.966
30	Alta	Fisura Transversal	1	ml	5.6ml			9cm	Alta	-77.0564	-11.966
31	Alta	Abultamiento	3	ml	1ml				Alta	-77.0569	-11.9656
32	Media	Fisura Transversal	3	ml	0.8ml			0.3cm	Media	-77.0569	-11.9656
33	Baja	Fisura Transversal	3	ml	0.64ml			0.1cm	Baja	-77.0569	-11.9655
34	Baja	Peladura_por_intemperismo_y_des	3	m2	34.56m2				Baja	-77.0569	-11.9656
35	Alta	Fisura longitudinal	3	ml	3.5ml			0.7cm	Alta	-77.0569	-11.9656
36	Alta	Fisura Transversal	3	ml	0.85ml			0.5cm	Alta	-77.0568	-11.9657
37	Alta	Fisura Transversal	3	ml	0.62ml			0.7cm	Alta	-77.0568	-11.9657
38	Alta	Fisura Transversal	3	ml	0.79ml			0.8cm	Alta	-77.0569	-11.9656
39	Baja	Peladura_por_intemperismo_y_des	3	m2	51.3m2				Baja	-77.0569	-11.9656
40	Alta	Piel de cocodrilo	3	m2	0.86m2			29cm	Alta	-77.057	-11.9657
41	Media	Piel_de_cocodrilo	3	m2	0.87m2			41cm	Media	-77.0569	-11.9655
42	Alta	Piel de cocodrilo	3	m2	0.31m2			28cm	Alta	-77.057	-11.9655
43	Media	Parches_y_parches_de_cortes_uti	3	m2	34m2				Media	-77.057	-11.9655
44	Alta	Fisura Transversal	5	ml	0.58ml			0.8cm	Alta	-77.0575	-11.9654
45	Alta	Fisura Transversal	5	ml	0.63ml			0.5cm	Alta	-77.0573	-11.9655
46	Alta	Fisura longitudinal	5	ml	0.60ml			0.9cm	Alta	-77.0573	-11.9654
47	Alta	Fisura Transversal	5	ml	0.47ml			0.7cm	Alta	-77.0573	-11.9654
48	Baja	Peladura por intemperismo y des	5	m2	50.22m2				Baja	-77.0574	-11.9654
49	Alta	Fisura Transversal	5	ml	0.50ml			0.5cm	Alta	-77.0573	-11.9655
50	Alta	Fisura Transversal	5	ml	0.34ml			0.4cm	Alta	-77.0573	-11.9655
51	Media	Fisura longitudinal	5	ml	0.66ml			0.4cm	Alta	-77.0575	-11.9654
52	Alta	Peladura por intemperismo y des	5	m2	23.85m2				Alta	-77.058	-11.9649
53	Media	Hundimiento	5	ml	0.5ml	15mm			Baja	-77.0579	-11.9651
54	Alta	Fisura Transversal	5	ml	4.10ml			1.5cm	Alta	-77.0581	-11.9653
55	Alta	Fisura Transversal	5	ml	4.08ml			1.3cm	Alta	-77.0577	-11.965
56	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	5	m2	36m2				Baja	-77.0578	-11.965
57	Media	Fisura de borde	7	ml	2.44ml				Media	-77.0581	-11.9648
58	Alta	Peladura_por_intemperismo_y_des	7	m2	5.36m2				Alta	-77.0583	-11.9647
59	Alta	Fisura longitudinal	7	ml	2.5ml			1cm	Alta	-77.0583	-11.9648
60	Media	Baches	7	Opción 3		65mm	80cm		Alta	-77.058	-11.9647
61	Alta	Baches	7	Opción 3		64mm	65cm		Alta	-77.058	-11.9648
62	Alta	Peladura_por_intemperismo_y_des	7	m2	2.97m2				Alta	-77.0581	-11.9649
63	Baja	Parches y parches de cortes uti	7	m2	30m2				Baja	-77.058	-11.9648
64	Media	Parches_y_parches_de_cortes_uti	7	m2	1.61m2				Alta	-77.0581	-11.9647
65	Alta	Fisura Transversal	7	ml	2.08ml			1.6cm	Alta	-77.0583	-11.9647
66	Media	Fisura parabólica	7	m2	0.46m2			1cm	Media	-77.0582	-11.9647
67	Media	Fisura parabólica	7	m2	0.44m2			2cm	Media	-77.0582	-11.9646
68	Media	Parches_y_parches_de_cortes_uti	7	m2	2.43m2				Alta	-77.0584	-11.9647
69	Media	Peladura por intemperismo y des	7	m2	22.6m2				Alta	-77.0583	-11.9648
70	Bajo	Parches y parches de cortes uti	9	m2	3.04m2				Alta	-77.0586	-11.9645
71	Bajo	Parches y parches de cortes uti	9	m2	12.4m2				Alta	-77.0586	-11.9646
72	Bajo	Parches y parches de cortes uti	9	m2	1.85m2				Alta	-77.0586	-11.9645
73	Medio	Parches_y_parches_de_cortes_uti	9	m2	1.95m2				Alta	-77.0587	-11.9644

Fuente: Elaboración propia

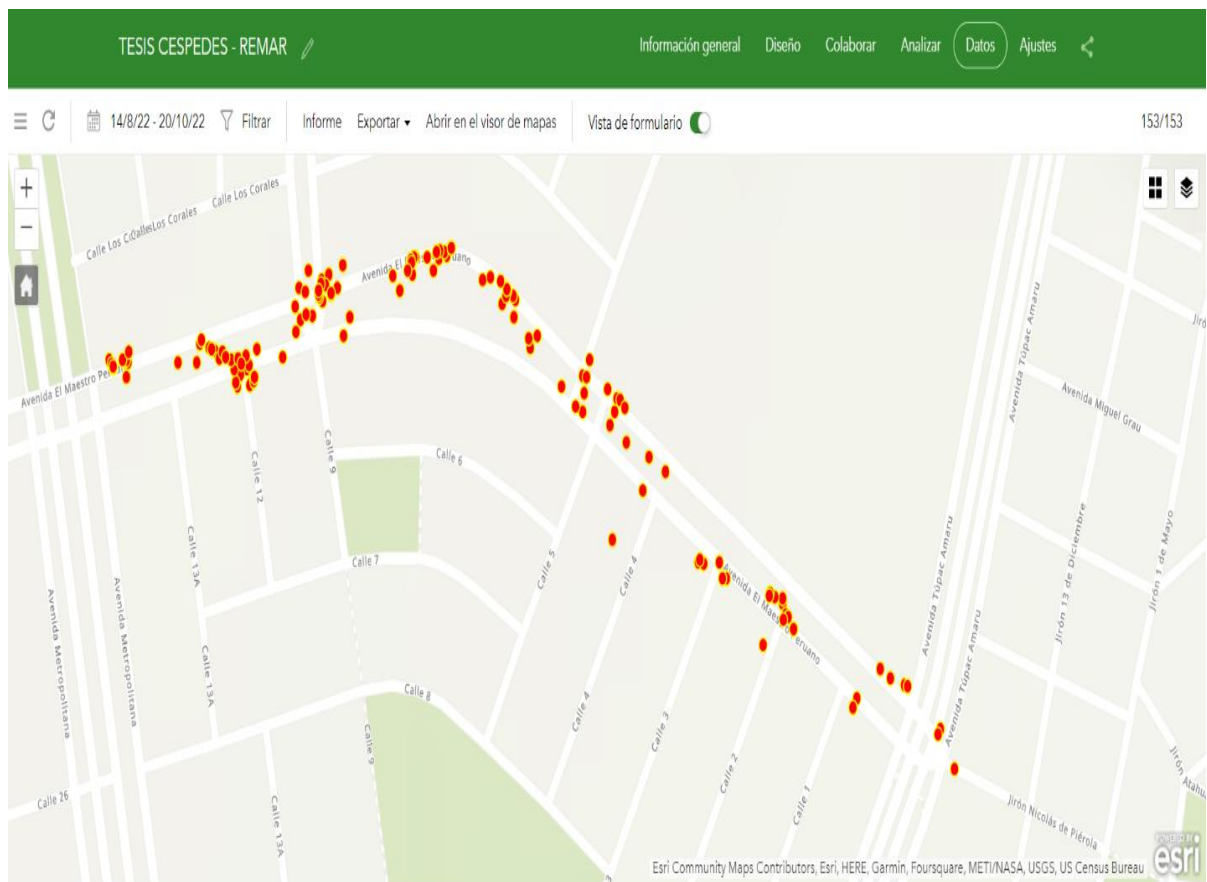
73	Medio	Parches_y_parches_de_cortes_uti	9	m2	1.95m2		Alta	-77.0587	-11.9644
74	Bajo	Parches y parches de cortes uti	9	m2	1.82m2		Alta	-77.0587	-11.9644
75	Medio	Parches_y_parches_de_cortes_uti	9	m2	0.83m2		Alta	-77.0588	-11.9643
76	Baja	Parches y parches de cortes uti	9	m2	0.76m2		Alta	-77.0588	-11.9643
77	Bajo	Parches_y_parches_de_cortes_uti	9	m2	4.42m2		Alta	-77.0588	-11.9643
78	Medio	Fisura Transversal	9	ml	0.36ml	0.3cm	Media	-77.0588	-11.9644
79	Baja	Fisura_longitudinal	9	ml	0.36ml	0.8cm	Alta	-77.0588	-11.9643
80	Alta	Fisura longitudinal	9	ml	4ml	0.8cm	Alta	-77.0588	-11.9643
81	Alta	Fisura_longitudinal	9	ml	1.10ml	1cm	Alta	-77.0588	-11.9643
82	Media	Peladura por intemperismo y des	9	m2	9.6m2		Alta	-77.0589	-11.9643
83	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	9	m2	42m2		Baja	-77.059	-11.9643
85	Alta	Fisura Transversal	11	ml	4.70ml	6cm	Alta	-77.0536	-11.9581
86	Bajo	Parches_y_parches_de_cortes_uti	11	m2	3.55m2		Baja	-77.0593	-11.9642
87	Alta	Fisura Transversal	11	ml	0.40ml	0.8cm	Alta	-77.0592	-11.9642
88	Alta	Fisura_longitudinal	11	ml	5.15ml	1cm	Alta	-77.0592	-11.9642
89	Baja	Parches y parches de cortes uti	11	m2	49.6m2		Alta	-77.0592	-11.9642
90	Alta	Fisura longitudinal	11	ml	0.57ml	1cm	Alta	-77.0592	-11.9642
91	Baja	Fisura longitudinal	11	ml	0.30ml	0.1cm	Baja	-77.0592	-11.9642
92	Media	Peladura por intemperismo y des	11	m2	13.6m2		Media	-77.0592	-11.9642
93	Alta	Fisura_Transversal	11	ml	1.90ml	9cm	Alta	-77.0592	-11.9642
94	Alta	Fisura Transversal	11	ml	1.73ml	9cm	Alta	-77.0593	-11.9642
95	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	11	m2	4.25m2		Alta	-77.0593	-11.9642
96	Alta	Fisura longitudinal	11	ml	2 ml	1cm	Alta	-77.0593	-11.9642
97	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	11	m2	1.05m2		Alta	-77.0593	-11.9642
98	Baja	Parches y parches de cortes uti	11	m2	0.27m2		Alta	-77.0594	-11.9642
99	Media	Parches_y_parches_de_cortes_uti	11	m2	12.4m2		Media	-77.0594	-11.9642
100	Baja	Parches y parches de cortes uti	11	m2	2.7m2		Baja	-77.0594	-11.9642
101	Media	Peladura_por_intemperismo_y_des	11	m2	1.82m2		Media	-77.0594	-11.9643
102	Baja	Parches y parches de cortes uti	11	m2	0.48m2		Baja	-77.0534	-11.9576
103	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	11	m2	4m2		Baja	-77.0594	-11.9642
104	Alta	Parches y parches de cortes uti	11	m2	1.03m2		Alta	-77.0595	-11.9642
105	Baja	Parches y parches de cortes uti	11	m2	0.79m2		Baja	-77.0595	-11.9643
106	Baja	Parches y parches de cortes uti	11	m2	1.38m2		Baja	-77.0595	-11.9643
107	baja	Parches y parches de cortes uti	11	m2	2.31m2		Baja	-77.0596	-11.9643
108	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	13	m2	2.49m2		Alta	-77.0599	-11.9642
109	Baja	Parches y parches de cortes uti	13	m2	10.01m2		Alta	-77.0601	-11.9643
110	Alta	Parches_y_parches_de_cortes_uti	13	m2	26.56m2		Alta	-77.0601	-11.9643
111	Alta	Fisura parabólica	13	m2	1.08m2	6cm	Alta	-77.0601	-11.9644
112	Media	Fisura parabólica	13	m2	1.20m2	3.5cm	Media	-77.0601	-11.9643
113	Baja	Parches y parches de cortes uti	13	m2	2.35m2		Alta	-77.06	-11.9643
114	Alta	Fisura_Transversal	13	ml	0.92ml	1cm	Alta	-77.0601	-11.9644
115	Media	Fisura parabólica	13	m2	0.15m2	1cm	Media	-77.0599	-11.9644
116	Alta	Fisura_Transversal	13	ml	2.13ml	3cm	Alta	-77.0531	-11.9583
117	Alta	Fisura parabólica	13	m2	1.38m2	7cm	Alta	-77.06	-11.9643
118	Baja	Peladura_por_intemperismo_y_des	13	m2	13.6m2		Alta	-77.06	-11.9643
119	Baja	Parches y parches de cortes uti	13	m2	3.55m2		Alta	-77.06	-11.9643
120	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	13	m2	6.20m2		Alta	-77.0601	-11.9643
121	Alta	Fisura Transversal	13	ml	5.9ml	5cm	Alta	-77.0602	-11.9642
122	Alta	Fisura_longitudinal	13	ml	1.70ml	5cm	Alta	-77.0601	-11.9643
124	Baja	Baches	13	Opción 3	1	14cm	Baja	-77.06	-11.9643
125	Alta	Fisura Transversal	13	ml	5.80ml	5cm	Alta	-77.0599	-11.9645
126	Media	Fisura longitudinal	13	ml	5ml	2cm	Alta	-77.0599	-11.9645
127	Media	Peladura por intemperismo y des	13	m2	8.64m2		Media	-77.0601	-11.9643
128	Media	Piel_de_cocodrilo	13	m2	1.62m2	30cm	Media	-77.0602	-11.9644
129	Alto	Parches y parches de cortes uti	13	m2	2.8m2		Alta	-77.0601	-11.9644

Fuente: Elaboración propia

129	Alto	Parches y parches de cortes uti	13	m2	2.8m2		Alta	-77.0601	-11.9644	
130	Media	Parches_y_parches_de_cortes_uti	13	m2	6.46m2		Alta	-77.0602	-11.9644	
131	Baja	Parches y parches de cortes uti	13	m2	4.64m2		Alta	-77.0602	-11.9643	
132	Medio	Parches_y_parches_de_cortes_uti	13	m2	6.08m2		Alta	-77.0602	-11.9645	
133	Baja	Parches y parches de cortes uti	13	m2	6.84m2		Alta	-77.0603	-11.9646	
134	Bajo	Parches_y_parches_de_cortes_uti	13	m2	9.91m2		Alta	-77.0602	-11.9644	
135	Alta	Fisura Transversal	13	ml	5.75ml		5cm	Alta	-77.0602	-11.9643
136	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	15	m2	31.2m2			Alta	-77.0606	-11.9647
137	Media	Parches y parches de cortes uti	15	m2	42.8m2			Alta	-77.0607	-11.9646
138	Alta	Parches_y_parches_de_cortes_uti	15	m2	8.8m2			Alta	-77.0607	-11.9646
139	Baja	Parches y parches de cortes uti	15	m2	2.07m2			Alta	-77.0606	-11.9646
140	Alta	Fisura_Transversal	15	ml	5.99ml		4cm	Alta	-77.0605	-11.9647
141	Alta	Fisura Transversal	15	ml	5.99ml		5.5cm	Alta	-77.0606	-11.9647
142	Alta	Fisura Transversal	15	ml	5.98ml		4cm	Alta	-77.0606	-11.9647
143	Alta	Fisura_Transversal	15	ml	5.99ml		3.5cm	Alta	-77.0608	-11.9646
144	Alta	Fisura Transversal	15	ml	5.98ml		6cm	Alta	-77.0608	-11.9646
145	Alta	Fisura_Transversal	15	ml	5.99ml		3.5cm	Alta	-77.0609	-11.9646
146	Alta	Fisura Transversal	15	ml	5.99ml		6cm	Alta	-77.0608	-11.9646
147	Alta	Fisura_Transversal	15	ml	5.99ml		10cm	Alta	-77.0605	-11.9646
148	Mediana	Parches y parches de cortes uti	15	m2	0.45m2			Alta	-77.0607	-11.9647
149	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	15	m2	0.46m2			Alta	-77.0606	-11.9646
150	Baja	Parches y parches de cortes uti	15	m2	0.77m2			Alta	-77.0606	-11.9647
151	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	15	m2	0.33m2			Alta	-77.0605	-11.9647
152	Media	Parches y parches de cortes uti	15	m2	0.37m2			Alta	-77.0607	-11.9646
153	Media	Parches_y_parches_de_cortes_uti	15	m2	0.45m2			Alta	-77.0608	-11.9646
154	Alta	Hundimiento	15	ml	0.91ml	10mm		Baja	-77.0609	-11.9645
155	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	15	m2	0.37m2			Alta	-77.0609	-11.9645
156	Baja	Parches y parches de cortes uti	15	m2	0.28m2			Alta	-77.0607	-11.9646
157	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	15	m2	0.55m2			Alta	-77.0583	-11.9697
158	Baja	Parches y parches de cortes uti	15	m2	0.39m2			Alta	-77.0607	-11.9646
159	Baja	Parches y parches de cortes uti	15	m2	1.87m2			Alta	-77.0607	-11.9646
160	Bajo	Parches y parches de cortes uti	15	m2	1.39m2			Alta	-77.0605	-11.9647
161	Baja	Parches y parches de cortes uti	15	m2	1.25m2			Alta	-77.0606	-11.9646
162	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	15	m2	1.44m2			Alta	-77.0606	-11.9646
163	Baja	Parches y parches de cortes uti	15	m2	2.26m2			Alta	-77.0611	-11.9646
164	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	15	m2	1.36m2			Alta	-77.0606	-11.9646
165	Baja	Parches y parches de cortes uti	17	m2	18m2			Alta	-77.0614	-11.9647
166	Baja	Parches_y_parches_de_cortes_uti	17	m2	22.5m2			Alta	-77.0614	-11.9646
167	Alta	Parches y parches de cortes uti	17	m2	5.85m2			Alta	-77.0614	-11.9646
168	Alta	Fisura_Transversal	17	ml	5.98ml		5cm	Alta	-77.0614	-11.9646
169	Alta	Hundimiento	17	ml	0.65ml	19mm		Baja	-77.0614	-11.9646
170	Alta	Fisura_Transversal	17	ml	5.99ml		3cm	Alta	-77.0615	-11.9646
171	Media	Hundimiento	17	ml	0.59ml	39mm		Media	-77.0615	-11.9646
172	Alta	Fisura_Transversal	17	ml	5.98ml		3cm	Alta	-77.0615	-11.9646
173	Alta	Fisura Transversal	17	ml	3.74ml		5cm	Alta	-77.0615	-11.9646
174	Baja	Corrugación	17	m2	6.14m2			Baja	-77.0614	-11.9646
175	Media	Fisura Transversal	17	ml	6.4ml		1cm	Alta	-77.0615	-11.9646

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Ubicación de fallas en Survey123



Fuente: Elaboración propia