

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.Introducción

La accesibilidad vial al municipio de Uriondo se realiza a través de una carretera con pavimento flexible, hasta el poblado Concepción, distante a 25 km de la ciudad de Tarija. El tramo Cruce Al Valle De Concepción - Valle De Concepción tiene una longitud de 8.34 km, siendo una ruta de importante integración vial, dado su considerable flujo vehicular por su demanda tanto turística como productiva, al ser una zona vitivinícola por excelencia.

La subgobernación de Uriondo de acuerdo a la nueva estructura organizacional del Gobierno Autónomo Departamental de Tarija, se hace cargo de las tareas de mantenimiento de las rutas departamentales, las cuales antes eran realizadas por el SEDECA, siendo el tramo en estudio uno de los más importantes para su integración vial.

A nivel local, la escasez de gestión en cuanto a estrategias de mantenimiento y rehabilitación vial ha llevado en muchos casos a utilizar técnicas que involucran tiempos elevados, mayor cantidad de recursos humanos y logísticos para evaluar, detectar y analizar los daños en el pavimento de carreteras, lo que conduce a resultados ineficientes. A todo esto, se suma el deficiente control de ejes en las rutas, por lo que, la carretera pavimentada al no contar con un control de tráfico está expuesta a deterioros constantes, tanto en la capa de rodadura y además a su paquete estructural.

Al igual que el resto de muchas sub gobernaciones cuentan con poco personal para múltiples actividades de campo, por lo que, al hacer uso de estos nuevos procesos; los cuales requieren menor cantidad de recursos, resultará una estrategia a ser replicada para cumplir las nuevas metas propuestas.

Resulta importante contar con herramientas que permitan evaluaciones rápidas y confiables para planificar la intervención, y así, de esta manera conservar la infraestructura vial y sobre todo que permitan realizar las evaluaciones de manera más rápida y aún más confiable.

A través del uso de ortofotos obtenidas por drones y herramientas SIG, se pueden optimizar los tiempos de evaluación y a su vez contar con un registro georreferenciado de los sectores que requieren mantenimiento, mediante un inventario de evaluación continua; que permita la cuantificación y la dimensión de múltiples fallas que se presentan a lo largo del pavimento.

1.2.Justificación

1.2.1.Técnica

La evaluación superficial es considerada como un primer paso en la programación de tareas de mantenimientos viales, que permitan la conservación de las rutas. Al no contar con información sobre el estado de deterioro de las vías, se optan por tratamientos superficiales de poca duración, sin un sustento más profundo para solucionar la problemática. Es por ello que se debe realizar una evaluación superficial del pavimento para obtener información potencial del estado situacional de la vía, probables causas de los problemas y su posible solución para planificar los trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación.

La generación de información más confiable, permitirá planificar, priorizar y presupuestar el mantenimiento y rehabilitación de vías, optimizando los recursos disponibles en forma eficiente.

1.2.2.Socio económica

Las entidades a cargo del mantenimiento vial requieren contar con un método viable y rápido para la gestión de sus redes viales. Las nuevas tecnologías de bajo costo y de buena precisión que permitan generar información mediante el uso de técnicas modernas de bajo costo, permitirá reducir los costos de personal para hacer el seguimiento de la condición del pavimento de forma eficiente, y optimizando sus recursos económicos limitados.

1.2.3.Social

El uso de vehículos aéreos no tripulados de bajo costo, se han empleado en investigaciones para recolectar información de la condición de caminos rurales, obteniendo resultados con buena precisión y confiabilidad.

Las entidades a cargo del mantenimiento vial requieren contar con métodos y tecnologías de bajo costo y sobre todo de buena precisión, que les permita generar información de la condición del pavimento para planificar, programar, priorizar y presupuestar correctamente el mantenimiento y rehabilitación de sus vías, optimizando los recursos disponibles con actividades puntuales que generen el menor impacto ambiental posible.

1.3.Situación problemática

Las reducidas políticas de evaluación superficial o relevamiento de las fallas en los pavimentos, provocan la postergación de trabajos preventivos, improvisando medidas correctivas que en muchos casos no son las correctas y encarecen aún más los costos de mantenimiento ante los mayores deterioros viales.

Las estrategias de mantenimiento vial no son debidamente planificadas con la antelación necesaria, en base a diagnósticos rutinarios y sobre todo de forma oportuna, ocasionado el deterioro acelerado de la superficie de rodadura y la inconformidad de los usuarios.

El tiempo invertido en los trabajos de evaluación de las vías es considerable, sumándose al incremento en la dificultad por el intenso tráfico del tramo y sobre todo poniendo en riesgo la vida de los evaluadores o controladores.

En base a ello, ¿Cómo mejorar los rendimientos en la evaluación superficial de pavimentos flexibles mediante el método PCI para determinar el estado vial para una mejor y más oportuna planificación de intervención?

1.3.1.Planteamiento del problema

¿En qué medida la evaluación superficial de pavimentos mediante el método PCI con el empleo de drones podrá permitir una evaluación confiable para determinar el estado de la ruta Cruce Al Valle De Concepción - Valle De Concepción?

1.4.Hipótesis

Si se aplican mediciones indirectas a través de Ortofotos obtenidas con Drone para la medición del deterioro del pavimento correspondiente al tramo Cruce Al Valle De Concepción - Valle De Concepción; entonces se alcanzarán resultados similares y factibles a los obtenidos con métodos de auscultación directa, para la determinación del índice de condición de pavimento (PCI).

1.5.Objetivos

1.5.1.General

Realizar la comparación del índice de condición de pavimento mediante mediciones directas y mediciones indirectas obtenidas mediante ortofotos tomadas por dron, para establecer el grado de confiabilidad en la evaluación vial del tramo Cruce Al Valle De Concepción - Valle De Concepción.

1.5.2.Específicos

- Determinar el grado de condición actual del pavimento del tramo Cruce Al Valle De Concepción - Valle De Concepción mediante la metodología PCI) realizando mediciones directas convencionales
- Determinar la condición superficial actual del pavimento flexible empleando ortofotos obtenidas por dron con la aplicación de software SIG y de procesamiento de datos como AGISOFT METASHAPE, ArcMap 10.8, CIVIL 3D.
- Comparar los resultados de mediciones directas e indirectas para establecer el grado de confiabilidad en la evaluación de la condición de pavimentos
- Plantear conclusiones y recomendaciones sobre las ventajas y desventajas en la aplicación de métodos convencionales y mediciones indirectas.

1.6.VARIABLES dependientes e independientes

1.6.1.VARIABLES dependientes

La determinación del índice de condición de pavimento del tramo San Isidro - Valle.

1.6.2.VARIABLES independientes

Se define como variable dependiente, la evaluación superficial de los deterioros del pavimento mediante ortofotos.

1.6.3. Operacionalización de variables

Tabla 1 Variable independiente y dependiente

Variables			
Variable dependiente	Indicadores	Índice	Instrumentación
* Procesamiento de imágenes con Agisoft Metashape	Mapeo y realce	* Rango de Pixeles de las imágenes	Programa Arc Gis 10,5
Variable independiente			
Condición del Pavimento	Tipo de fallas Superficiales	Unidades de medición de la falla (m, m2, etc.)	Programa Arc Gis 10,5
	Longitud de cada Falla		Programa Arc Gis 10,5
	Área de cada falla		Programa Arc Gis 10,5
	Índice de condición de pavimento		Manual PCI

Fuente: Elaboración propia

1.7. Diseño metodológico

La presente investigación caracteriza su enfoque como tipo cuantitativo y cualitativo, según el nivel de investigación como tipo Explicativo Correlacional y considerando el diseño de investigación es No Experimental - Transeccional.

El tipo de investigación es de enfoque mixto ya que abarca dos tipos: cualitativo y cuantitativo. Es cualitativa porque para el cálculo del PCI se obtendrán resultados descriptivos; por otro lado, es también cuantitativo porque el resultado que proporcione el índice PCI tiene escalas numéricas que van desde el 0 hasta el 100.

1.7.1.Unidades de estudio y decisión de la muestra

1.7.1.1.Unidad de estudio

1.7.1.2.Población

La población estudio refiere al tramo Cruce Al Valle De Concepción - Valle De Concepción ubicado en el departamento de Tarija. El tramo cuenta con una longitud de 8,4 km con un ancho de vía de 7,30 m de circulación en ambos sentidos.

1.7.1.3.Muestra

Un muestreo estadístico probabilístico es requisito para que todos los elementos de la población tengan la misma probabilidad de ser seleccionados (azar). Se debe tener disponible un listado completo de todos los elementos de la población. (Espinoza, 2016).

Se han determinado las unidades muestrales considerando según la metodología PCI. (Muestreo estadístico probabilístico)

1.7.1.4.Muestreo

Son 16 unidades de muestreo las que se han utilizado

1.7.2.Metodología y técnicas empleadas

a) Técnicas de recolección de datos

Las Técnicas que se utilizaron fueron:

- La Fotogrametría
- Topografía
- Georreferenciación

b) Instrumentos de recolección de datos

La instrumentación requerida para el estudio fue la siguiente: dron multirotor, GNSS y Software Agisoft Metashape.

- Medición con instrumentos de medición directa

Se utilizado una regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones, además del Manual de daños del PCI con los formatos correspondientes y planillas de medición.

- GNSS

Se ha trabajado con un GPS DIFERENCIAL de última generación. El GPS Diferencial introduce una mayor exactitud en el sistema. Este tipo de receptor, además de recibir y procesar la información de los satélites, recibe y procesa, simultáneamente, otra información adicional procedente de una estación terrestre situada en un lugar cercano y reconocido por el receptor.

Figura 1 Equipo GNSS



Fuente: Manualslib

Figura 2 Equipo GNSS



Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Características del GNSS

Receptor GNSS	
Frecuencia GPS	Recibir simultáneamente: GPS: L1 C/A, L2, L5 BEIDOU: B1, B2, B3 GLONASS: F1, F2 Galileo: E1, E5A, E5B
Precisión de posicionamiento	Punto único Horizontal : 1,5 m(RMS) Vertical : 3,0 m(RMS) RTK Horizontal : 1 cm+ 1 ppm(RMS) Vertical : 2 cm+ 1 ppm(RMS) 1 ppm: Por cada 1 km de aumento en la distancia, la precisión sera 1 mm menos. Por ejemplo, la precisión horizontal es de 1,1 cm cuando el extremo receptor esta a 1 km de la estación base.
Tasa de actualización de posicionamiento	1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz y 20 Hz
Inicio fresco	< 45 s
Arranque en caliente	< 10 s
Tiempo de recuperación	< 1 s
Confiabilidad de inicialización	> 99.9%
Formato de datos diferenciales	RTCM 2.X/3.X

Fuente: Manual de usuario CH –CNAV

- Drone Phantom 4 + RTK

Para adquirir las imágenes del área de estudio se utilizó un Vehículo Aéreo No Tripulado - UAV, del fabricante DJI modelo Phantom 4 + RTK. El referido UAV es un tipo multirrotor que pesa aproximadamente 1,5 kg y está equipado con una cámara de 20 megapíxeles (capaz de filmar a 4 k / 60 fps), con un alcance de transmisión de video de 7 km. La elección del equipo se basó en su facilidad de uso, estabilidad de vuelo, calidad de las imágenes generadas y precio asequible.

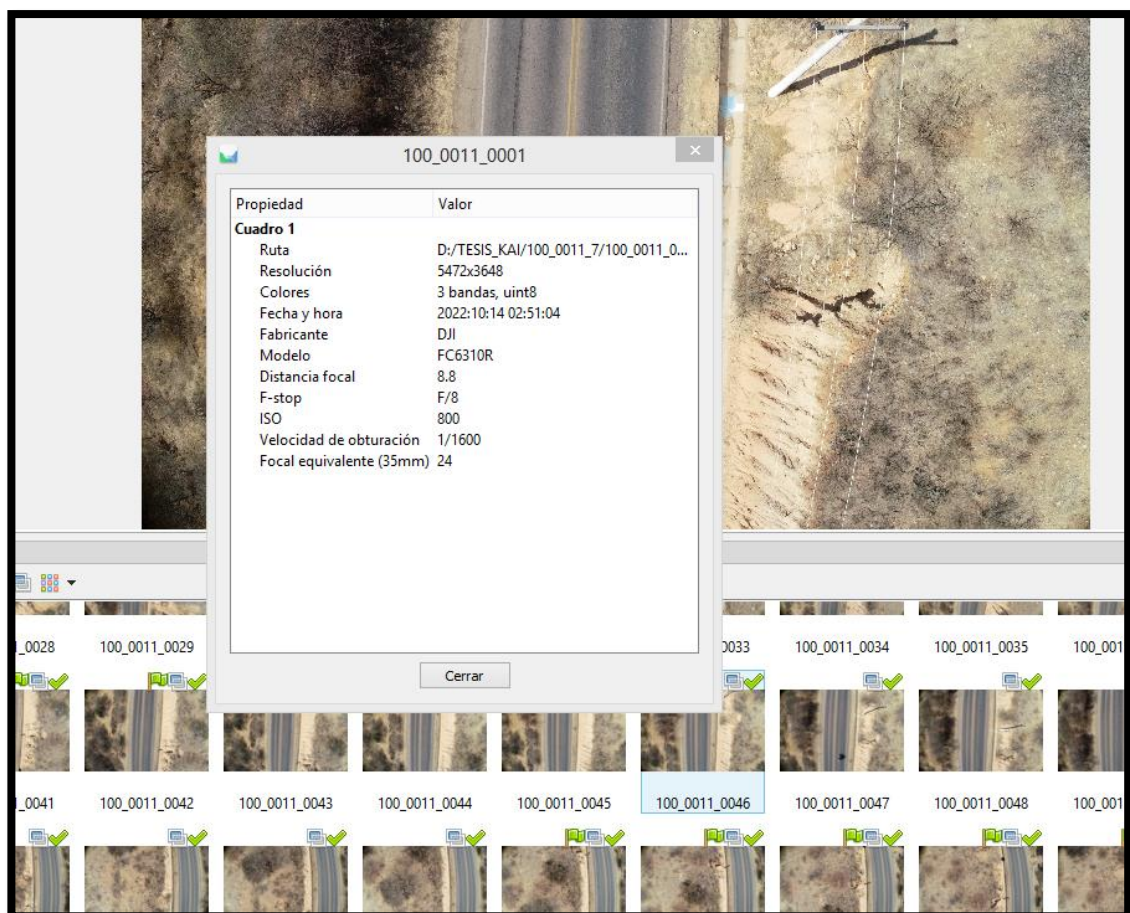
Para las etapas de planificación del vuelo y posterior composición de la ortografía se utilizó la aplicación DJI GO, propia del fabricante. Permitiendo parametrizar el plan de vuelo de acuerdo con la resolución deseada para las imágenes originales, la tasa de superposición de imágenes, las líneas de vuelo y la resolución resultante. Los parámetros de vuelo utilizados en el presente estudio se pueden observar más adelante.

Las características del equipo y su precisión son las siguientes:

- Precisión de posicionamiento: Vertical 1.5 cm + 1 ppm (RMS) ;
- Horizontal 1 cm + 1 ppm (RMS)
- 1 ppm significa que el error tiene un aumento de 1 mm por cada 1 km de movimiento desde la aeronave.

Los parámetros internos o características de la cámara del dron utilizado, se alcanzan a visualizar al importar las fotografías tomadas del vuelo al programa de fotogrametría, donde al abrir la pestaña, se muestra las características de la cámara que tomo las fotografías.

Figura 4 Características de la cámara

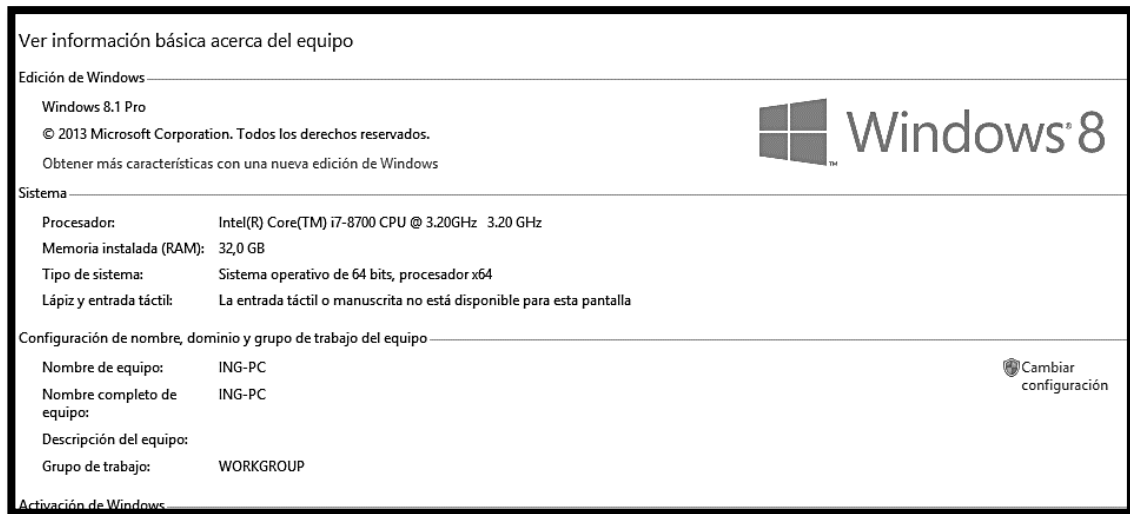


Fuente: Elaboración propia

- Ordenador para post proceso

El trabajo con fotogrametría involucra alta demanda informática, por lo que se trabajó con un ordenador bastante robusto en cuanto a prestaciones tanto en video como en procesador.

Figura 5 Características del ordenador



Fuente: Elaboración propia

1.7.3. Proceso de aplicación

La presente tesis es una investigación aplicada tomando la metodología mediante el procesamiento digital de imágenes tomadas por dron.

1.7.4. Análisis estadístico

Habiendo realizado la identificación de fallas superficiales, se realiza la evaluación del Índice de la Condición del Pavimento con la utilización de planillas Excel para el respectivo inventario, donde se observan los archivos de resumen que cuantifican las cantidades de daño más importantes para el pavimento de cada tramo en estudio. De acuerdo al daño encontrado en el Pavimento estas serán clasificadas según al Cuadro de Rango de Calificación del PCI.

1.8.Alcance

Se ha procedido a la inspección de la vía en cada unidad de muestra, identificando el tipo y grado de severidad de los deterioros establecido mediante inspección visual de la ortofoto como del modelo digital de terreno, para posteriormente aplicar el método PCI.

Se realizó el levantamiento de fallas en campo mediante inspección visual de las unidades de muestreo y luego se aplicó el método PCI y se compararon los resultados obtenidos con la evaluación superficial del pavimento empleando imágenes obtenidas del dron.

Se realizarán planes de vuelo para la obtención de imágenes por dron, para luego realizar el post proceso y restitución fotogramétrica. Dicha información servirá como una base de datos para la evolución de los deterioros del pavimento con el paso del tiempo.

Se establecerán puntos de apoyo terrestres para georreferenciar las fotografías aéreas y su utilización en la etapa de procesamiento de imágenes en cada uno tramo de los tramos de pavimento flexible.

El procesamiento de imágenes obtenidas en el vuelo se realizará en gabinete mediante el uso del software especializado en fotogrametría Agisoft Metashape.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO

TEÓRICO

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.Pavimento

Un pavimento es una estructura constituida por una serie de capas superpuestas, que se diseñan y constituyen teniendo en cuenta diferentes métodos, normas y especificaciones técnicas para materiales apropiados, que se someten a diferentes procesos constructivos con el fin de obtener una superficie apta que presente la rigidez y durabilidad necesaria para el tránsito de vehículos. (Mocondino R., 2020)

2.1.1.Funciones de pavimentos

Según Mocondino R. (2020) las funciones de los pavimentos son las siguientes:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo
- Presentar una textura superficial apta para la velocidad prevista de circulación de los vehículos, puesto que esto tiene influencia directa en la seguridad vial.
- Ser resistente al desgaste generado por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Ser durable
- Ser económico
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deber ser adecuadamente moderado.
- Poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

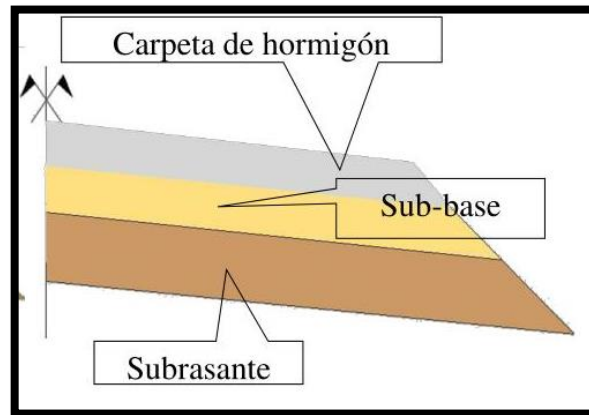
2.2.Clasificación de pavimentos

2.2.1.Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de

resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (Montejo Fonseca, 2002).

Figura 6 Estructura de pavimento rígido



Fuente: Concepto y tipo de pavimentos

2.2.2. Funciones de las capas de un pavimento rígido

2.2.2.1. La subbase

La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licúa el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulares a través de las losas. (Montejo Fonseca, 2002, págs. 5-7)

- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

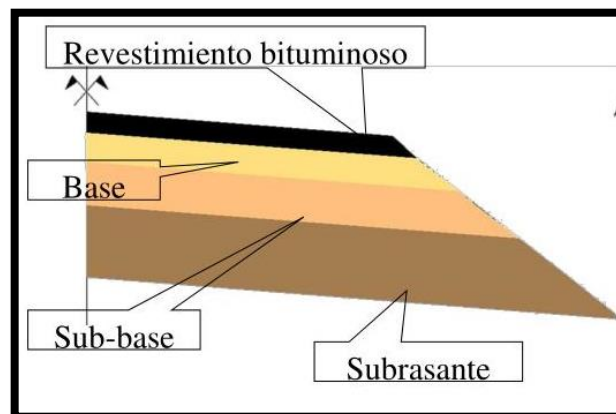
2.2.2.2.Losa de concreto

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen. (Montejo Fonseca, 2002)

2.2.3.Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. (Montejo Fonseca, 2002, pág. 4)

Figura 7 Estructura de pavimento flexible



Fuente: Concepto y tipo de pavimentos

2.2.3.1.Funciones de las capas de un pavimento flexible

2.2.3.1.1.La subbase granular

- **Función económica.** Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica, en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento una capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y, no obstante, resultar más económica. (Montejo Fonseca, 2002, pág. 4)
- **Capa de transición.** La subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y, por otra parte, actúa como filtro de

la base impidiendo que los dinos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad. (Montejo Fonseca, 2002, pág. 4)

- Disminución de las deformaciones. Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento. (Montejo Fonseca, 2002, pág. 4)
- Resistencia. La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidos a un nivel adecuado a la subrasante. (Montejo Fonseca, 2002, pág. 4)
- Drenaje. En muchos casos la subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar. (Montejo Fonseca, 2002, pág. 4)

2.2.3.1.2. La base granular

- Resistencia. La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.
- Función económica. Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase respecto a la base. (Montejo Fonseca, 2002)

2.2.3.1.3. Carpeta

- Superficie de rodamiento. La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- Impermeabilidad. Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- Resistencia. Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento. (Montejo Fonseca, 2002)

2.3.Fallas en pavimentos

Parten de los defectos en una o varias de las capas que forman parte del paquete estructural del pavimento, las cuales tienen como función soportar y distribuir los esfuerzos generados por las cargas de tráfico, de tal forma que a la subrasante o al suelo de fundación, estos esfuerzos lleguen, pero con una magnitud mucho menor a la generada en la capa de rodadura. Para estas fallas, las medidas de corrección se deben centrar en el refuerzo de la estructura existente usando una capa con un espesor previamente estimado en función de las cargas de tráfico estudiadas en el período previsto para la rehabilitación.

2.3.1.Evaluación de fallas superficiales en pavimentos

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

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

2.3.2.Importancia de evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos es importante, pues permitirá conocer tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima.

Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir 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 prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores.

2.3.3.Objetividad en la evaluación de pavimentos

La objetividad en la evaluación de pavimentos juega un papel primordial, pues se necesita personas verdaderamente capacitadas para que realicen las evaluaciones, de no ser así,

dichas pruebas pueden perder credibilidad con el tiempo y no podrán ser comparadas, además, es importante que se escoja un modelo de evaluación que se encuentre estandarizado para poder decir que se ha realizado una evaluación verdaderamente objetiva.

No siempre se pueden obtener mediciones o índices que cumplan con la condición para comparar dos proyectos debido al sesgo intrínseco de la toma de decisiones, produciéndose una desviación entre la realidad y lo expresado por las muestras. La desviación que ocurre puede deberse a dos causas principales.

Variabilidad de las unidades, debido a que las unidades son la base para los análisis que se realizaran.

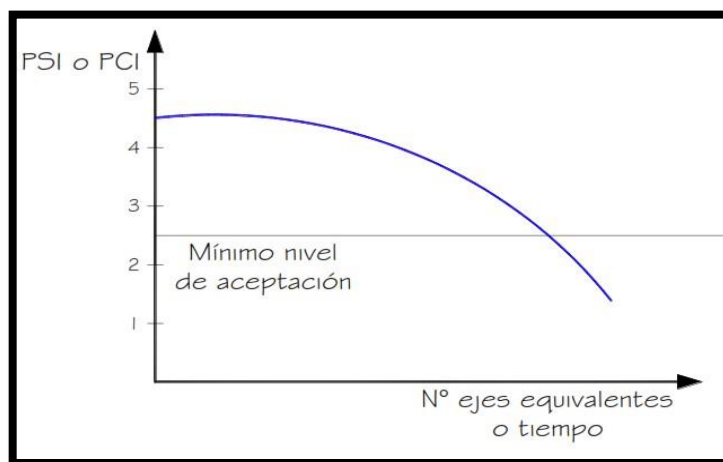
Diversidad de la respuesta dentro de cada unidad, esto porque se relaciona a la fiabilidad de la eventual rehabilitación.

2.3.4. Curva de comportamiento de los pavimentos

La curva de comportamiento de los pavimentos es la representación histórica de la calidad del pavimento.

Para analizar el comportamiento funcional del pavimento se necesita información de calidad de rodadura durante el 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, consiguiendo de esta manera visualizar el tiempo en el que un pavimento necesitará una rehabilitación, consiguiendo con esto incrementar la vida útil del pavimento.

Figura 8 curva de comportamiento de pavimentos



Fuente: Zeballos Gamarra

se representa el comportamiento de un pavimento en función del tiempo o del número de ejes equivalentes al cual está expuesto; mediante esta representación se podrá adoptar medidas adecuadas, las cuales permitan aumentar la vida útil de un pavimento.

2.3.5. Índice de condición de Pavimentos

El Índice de Condición de Pavimentos (PCI) con sus siglas en inglés, es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad). El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción o la rugosidad general. Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento. (ABC, 2011, pág. 23)

El PCI fue desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de la US Army con fondos provistos por la US Air Force, para pavimentos de aeropuertos. Posteriormente fue verificado y adoptado por la FAA y la US Naval Facilities Engineering Command. La metodología PCI esta descrita en la norma ASTM 5340-98. (ABC, 2011, pág. 23)

El PCI para caminos y estacionamientos está cubierta mediante la ASTM D 6433-77 práctica que fue desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU.,

verificada y adoptada por el departamento de defensa de los Estados Unidos DOD (U.S. Department of Defense) en sus siglas en inglés y por La Asociación Estadounidense de Obras Públicas o APWA (American Public Works Association) por sus siglas en inglés. (ASTM, 2007)

Así mismo el Ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela en Manizales, 2002, en su cargo como ingeniero Civil. Especialista en Vías y transporte en conjunto a la Universidad Nacional de Colombia. Describe recomendaciones y criterios a optar para la aplicación de las normativas estándar, considerando una zona geográfica semejante tipológicamente a países como Bolivia, Perú, entre otros.

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores reducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento. (ABC, 2011, pág. 23)

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la Tabla se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. (ABC, 2011, pág. 23)

Tabla 2 Rangos de calificación de PCI

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

Fuente: ABC, 2011, pág. 24

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. (ABC, 2011, pág. 24)

A continuación, se detalla brevemente el procedimiento de evaluación, de acuerdo con la norma ASTM D 6433 - 07.

2.3.5.1.Terminología

Se presentan las definiciones de términos específicos de la Norma ASTM D 6433 – 07; mediante una traducción del idioma original utilizando Microsoft Traductor.

2.3.5.1.1.Muestra adicional:

Es unidad de muestra inspeccionada además de las unidades de muestra aleatorias para incluir unidades de muestra no representativas en la determinación del estado del pavimento. Esto incluye muestras muy pobres o excelentes que no son típicas de la sección y unidades de muestra, que contienen una angustia inusual, como un corte de utilidad. Si una unidad de muestra que contiene una angustia inusual se elige al azar, debe contarse como una unidad de muestra adicional y se debe elegir otra unidad de muestra aleatoria. Si se estudia cada unidad de muestra, entonces no hay unidades de muestra adicionales.

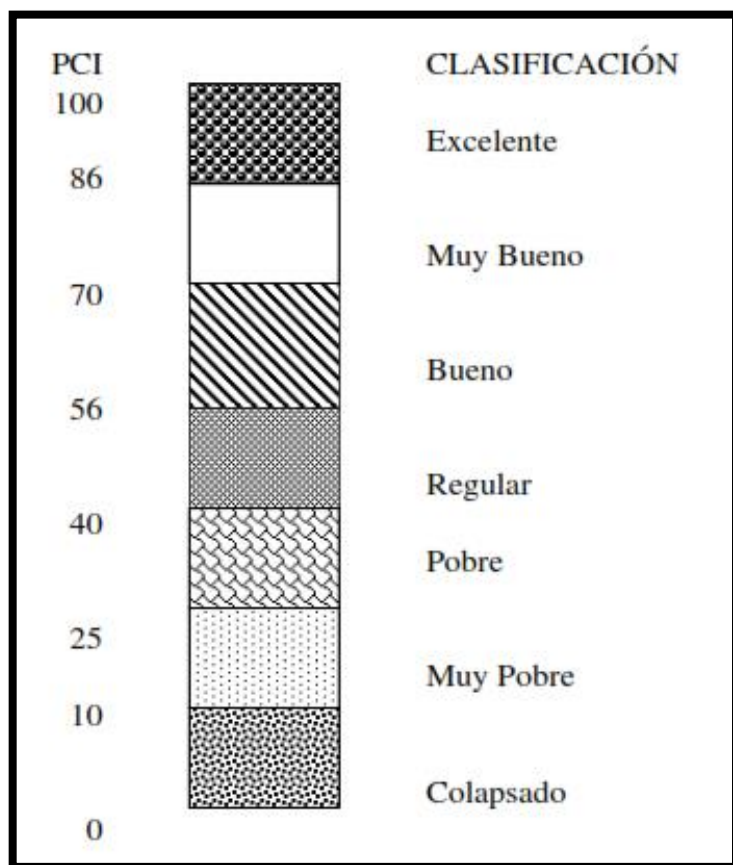
2.3.5.1.2.Superficie de concreto asfáltico (AC)

mezcla agregada con un aglutinante de cemento asfáltico. Este término también se refiere a las superficies construidas con alquitranes de hulla y alquitranes naturales para los fines de esta práctica.

2.3.5.1.3.Calificación de la condición del pavimento

Descripción verbal de la condición del pavimento en función del valor PCI que varía de "fallido" a "excelente".

Figura 9 Índice de condición del pavimento (PCI), escala de calificación



Fuente: ASTM 5340-98

2.3.5.1.4. Unidad de muestra de pavimento:

una subdivisión de una sección de pavimento que tiene un rango de tamaño estándar: 20 losas contiguas (± 8 losas si el número total de losas en la sección no se divide uniformemente por 20 o para adaptarse a condiciones específicas del campo) para pavimento PCC, y 2500 pies cuadrados contiguos, ± 1000 pies² (225 ± 90 m²), si el pavimento no está dividido uniformemente por 2500 o para adaptarse a condiciones específicas del campo, para pavimento de CA. 2.1.8 Sección de pavimento: un área de pavimento contigua que tiene construcción, mantenimiento, historial de uso y condición uniformes. Una sección debe tener el mismo volumen de tráfico e intensidad de carga.

2.3.5.1.5. Pavimento de hormigón de cemento portland (PCC):

Es una mezcla de áridos con aglutinante de cemento portland, incluido el pavimento con juntas no reforzadas y reforzadas.

2.3.5.1.6.Muestra aleatoria


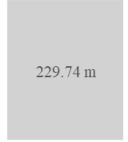
unidad de muestra de la sección del pavimento seleccionada para inspección mediante técnicas de muestreo aleatorio, como una tabla de números aleatorios o un procedimiento aleatorio sistemático.

2.3.5.2.Resumen de la prácticaEl pavimento se divide en ramas que se dividen en secciones. Cada sección se divide en unidades de muestra. El tipo y la gravedad de la angustia del pavimento se evalúan mediante

El pavimento es dividido en tramos, las cuales son divididas a su vez en secciones. Cada sección es nuevamente dividida en unidades de muestreo, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin.

Figura 10 Panilla de campo utilizada

		INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE						
NOMBRE DE LA VIA		TRAMO SAN ISIDRO - VALLE KM 0 AL KM 8			MUNICIPIO URIONDO		FECHA	
UNIDAD MUESTREADA		:			PROGRESIVA:		AL	
AREA DE LA MUESTRA		229.74341			EVALUADOR XAVIER ALEJANDRO GONZALES ALTAMIRANO			
TIPO DE FALLAS								
OBSERVACIONES	1.- Piel de cocodrilo	PC	m2	11.- Parcheo	PA	m2	FORMA DE LA MUESTRA DIMENSIONES 7.30 m  229.74 m 31.47 m	
	2.- Exudación	EX	m2	12.- Pulimiento de agreg.	PU	m2		
	3.- Agrietamiento en bloq	BLO	m2	13.- Huecos	HUE	und		
	4.- Abultamiento y hundir	ABH	m2	14.- Cruce de via ferrea	CVF	m2		
	5.- Corrugación	COR	m2	15.- Ahuellamiento	AHU	m2		
	6.- Depresión	DEP	m2	16.- Desplazamiento	DES	m2		
	7.- Grieta de borde	GB	m	17.- Grieta parabolica	GP	m2		
	8.- Reflexion de juntas	GR	m	18.- Hinchamiento	HN	m2		
	9.- Desnivel carril/berma	DN	m	19.- Desprendimientos de agregados	DAG	m2		
	10.- Grietas long y transv	GLT	m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTES							ESQUEMA O CROQUIS DE REFERENCIA	
TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES						

Fuente: Elaboración propia

2.3.5.2.1. Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación

En la “Evaluación De Una Red” vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

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

Donde:

n= Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

N= Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento

e= Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

σ = Desviación estándar del PCI entre las unidades

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35) En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), todas las unidades deberán evaluarse.

2.3.5.2.2. Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección:

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

- a. El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación 2:

$$i = \frac{N}{n}$$

Donde:

N= Número total de unidades de muestreo disponible. n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i= Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

2.3.5.2.3.Evaluación de a la condición

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del PCI confiable.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

- a. Equipo.
 - Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
 - Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
 - Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.
- b. Procedimiento. Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.
- c. El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

2.3.6.Fallas que considera el PCI en pavimentos

La Norma ASTM 5340–98, define 16 patologías en pavimentos asfálticos (AC) y 15 en Pavimentos de Hormigón de Cemento Portland (PCC) y establece las definiciones y guías para la cuantificación de las fallas y posterior determinación del PCI. Las fallas que considera el método son las siguientes:

Pavimentos asfálticos

1. Piel de cocodrilo
2. Exudación

3. Agrietamiento en bloque
4. Abultamientos y Hundimientos
5. Corrugación
6. Depresión
7. Grieta de borde
8. Grieta de reflexión de junta (De losas de concreto de cemento Pórtland)
9. Desnivel carril / berma
10. Grietas longitudinales y transversales (no son de reflexión de losas de concreto de cemento portland)
11. Parcheo y acometidas de servicios públicos
12. Pulimiento de agregados
13. Huecos
14. Cruce de vía férrea
15. Ahuellamiento
16. Desplazamiento
17. Grietas parabólicas (slippge)
18. Hinchamiento
19. Meteorización / desprendimiento de agregados

Pavimentos de hormigón

1. Blowup – Buckling (Pandeo Por Explosión O Estallido)
2. Grieta de esquina
3. Losa dividida
4. Grieta de durabilidad (Desprendimiento de Concreto)
5. Escala
6. Daño del sello de la junta
7. Desnivel carril / berma
8. Grietas lineales (grietas longitudinales, transversales y diagonales)
9. Parche grande (mayor de 0.45 m ²) y acometidas de servicios públicos
10. Parche pequeño (menor de 0.45 m ²)
11. Pulimiento de agregados

12. Popouts ()
13. Bombeo
14. Punzonamiento
15. Cruce de vía férrea
16. Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado
17. Grietas de retracción
18. Descascaramiento de esquina
19. Descascaramiento de junta

2.3.6.1. Fallas presentadas en pavimentos flexibles

1. Piel de cocodrilo

Descripción: Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60 m.

El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión. (Un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “grietas en bloque”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga).

La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Niveles de severidad

L: (Low: Bajo): Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta

M: (Medium: Medio): Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas

H: (High: Alto): Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito

Medida

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada. Si estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad, deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada, sello superficial. Sobrecarpeta

M: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobrecarpeta. Reconstrucción

H: Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción

Figura 11 Piel de cocodrilo de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 12 Piel de cocodrilo de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 13 Piel de cocodrilo de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

2. Exudación.

Descripción: La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

Niveles de severidad.

L: La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos

M: La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año

H: La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año

Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada

M: Se aplica arena / agregados y cilindrado

H: Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario)

Figura 14 Exudación de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 15 Exudación de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 16. Exudación de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

3. Agrietamiento en bloque

Descripción: Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a

cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente. Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

Niveles de severidad,

L: Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales

M: Bloques definidos por grietas de severidad media

H: Bloques definidos por grietas de alta severidad

Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un sólo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.

OPCiones de reparación

L: Sellado de grietas con ancho mayor a 3.0 mm. Riego de sello

M: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta

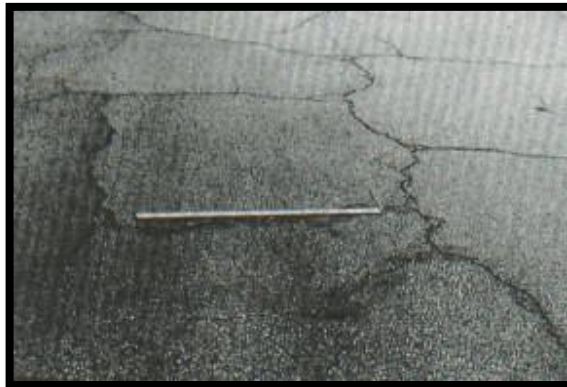
H: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta

Figura 17 Grietas en bloque de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 18 Grietas en bloque de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 19 Grietas en bloque de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

4. Abultamientos (bumps) y hundimientos (sags)

Descripción: Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables. Los abultamientos, por otra parte, pueden ser causados por varios factores, que incluyen:

1. Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.
2. Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).
3. Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado “tenting”).

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling).

Niveles de severidad

L: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad

M: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media

H: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta

Medida

Se miden en pies lineales (o metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

Opciones de reparación

L: No se hace nada

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial

H: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobrecarpeta

Figura 20. Abultamientos y hundimientos de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 21 Abultamientos y hundimientos de severidad medida



Fuente: Varela, 2002

Figura 22 Abultamientos y hundimientos de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

5. Corrugación

Descripción: La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

Niveles de severidad

L: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad

M: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad

H: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad

Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada

M: Reconstrucción

H: Reconstrucción

Figura 23 Corrugación de baja severidad



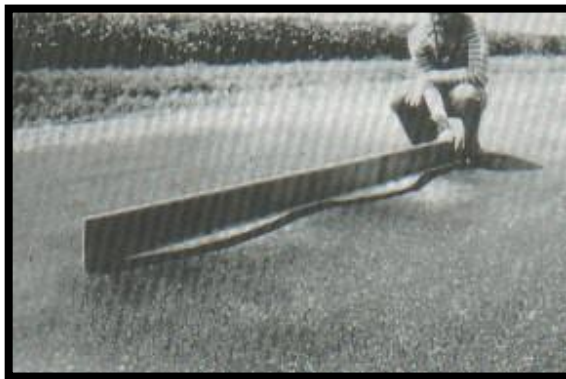
Fuente: Varela, 2002

Figura 24 Corrugación de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 25 Corrugación de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

6. Depresión

Descripción: Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidroplaneo.

Los hundimientos a diferencia de las depresiones, son las caídas bruscas del nivel.

Niveles de severidad.

Máxima profundidad de la depresión:

L: 13.0 a 25.0 mm

M: 25.0 a 51.0 mm

H: Más de 51.0 mm

Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) del área afectada.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada

M: Parcheo superficial, parcial o profundo

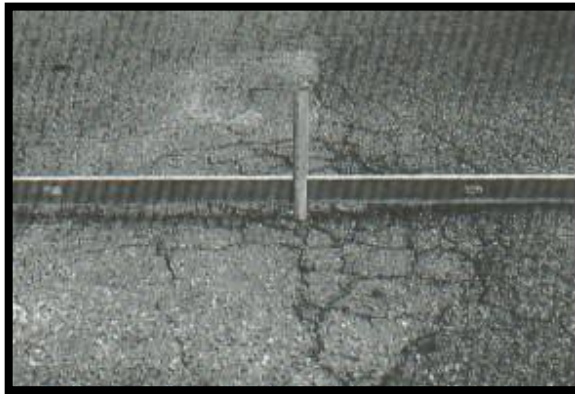
H: Parcheo superficial, parcial o profundo

Figura 26 Depresión de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 27 Depresión de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 28 Depresión de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

7. Grieta de borde

Descripción: Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

Niveles de severidad.

L: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento

M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento

H: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde

Medida

La grieta de borde se mide en pies lineales (o metros lineales).

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm

M: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo

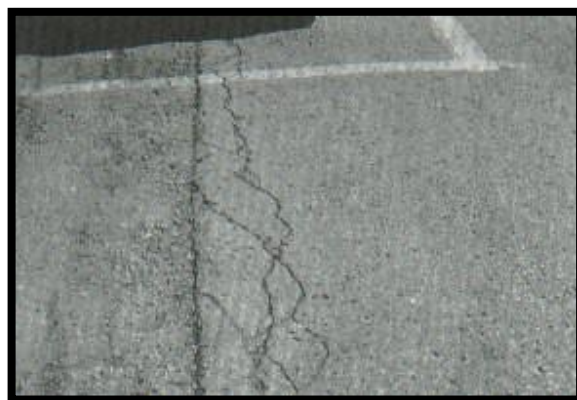
H: Parcheo parcial – profundo

Figura 29 Grieta de borde de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 30 Grieta de borde de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 31 Grieta de borde de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

8. Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento pórtland)

Descripción: Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Pórtland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la grieta, se dice que aquella está descascarada. El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayuda a identificar estos daños.

Niveles de Severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.
2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).

Medida

La grieta de reflexión de junta se mide en pies lineales (o metros lineales). La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado. Por ejemplo, una grieta de 15.0 m puede tener 3.0 m de grietas de alta severidad; estas deben registrarse de forma separada. Si se presenta un abultamiento en la grieta de reflexión este también debe registrarse.

OPCIONES de Reparación.

L: Sellado para anchos superiores a 3.00 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

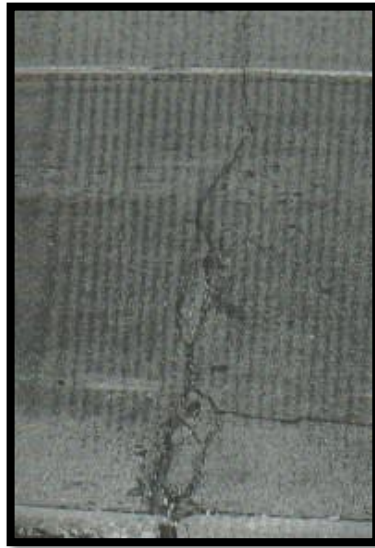
H: Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.

Figura 32 Grieta de reflexión de junta de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 33 Grieta de reflexión de junta de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 34 Grieta de reflexión de junta de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

9. Desnivel carril / berma

Descripción: El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

Niveles de severidad.

L: La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25.0 y 51.0 mm

M: La diferencia está entre 51.0 mm y 102.0 mm

H: La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm

Medida

El desnivel carril / berma se miden en pies lineales (o metros lineales).

OPCIONES de reparación

L, M, H: Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril

Figura 35 Desnivel carril / berma de baja severidad



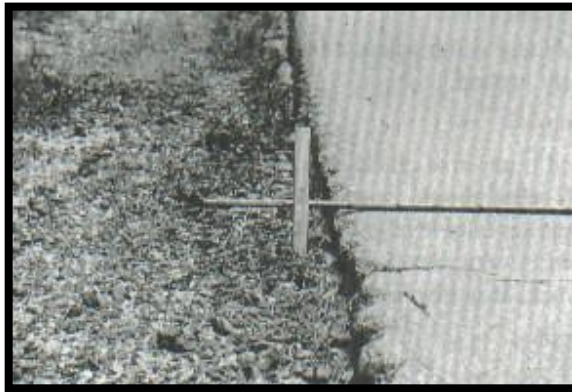
Fuente: Varela, 2002

Figura 36 Desnivel carril / berma de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 37 Desnivel carril / berma de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

10. Grietas longitudinales y transversales (no son de reflexión de losas de concreto de cemento pórtland)

Descripción: Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causadas por:

1. Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
2. Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.
3. Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Pórtland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no est  asociado con carga.

Niveles de Severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Medida

Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (o metros lineales). La longitud y severidad de cada grieta debe registrarse después de su identificación. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de la grieta con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado. Si ocurren abultamientos o hundimientos en la grieta, estos deben registrarse.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3.0 mm

M: Sellado de grietas

H: Sellado de grietas. Parcheo parcial

Figura 38 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de baja severidad



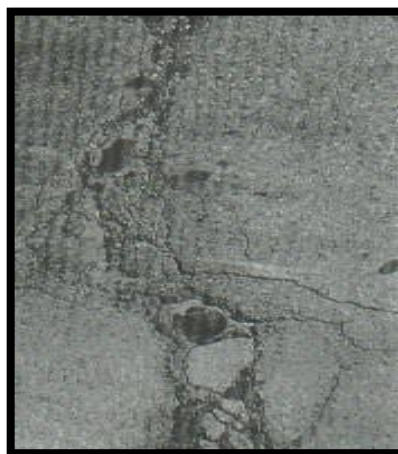
Fuente: Varela, 2002

Figura 39 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 40 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

11. Parcheo y acometidas de servicios públicos

Descripción: Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño.

Niveles de Severidad

L: El parche está en buena condición buena y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor

M: El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media

H: El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución

Medida

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un sólo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2.32 m² puede tener 0.9 m² de severidad media y 1.35 m² de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aún si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada

M: No se hace nada. Sustitución del parche

H: Sustitución del parche

Figura 41 Parcheo y acometidas de servicios públicos de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 42 Parcheo y acometidas de servicios públicos de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 43 Parcheo y acometidas de servicios públicos de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

12. Pulimento de agregados

Descripción: Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

Niveles de severidad.

No se define ningún nivel de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto.

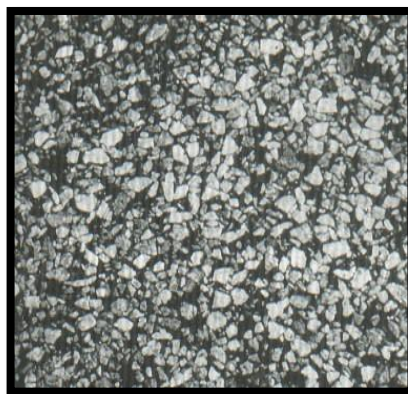
Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza exudación, no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

Opciones de reparación

L, M, H: No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta

Figura 44 Pulimento de agregados



Fuente: Varela, 2002

13. Huecos

Descripción: Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con el Cuadro 13.1.

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies² (0.47 m²) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25.0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25.0 mm la severidad se considera como alta.

Tabla 3 Niveles de severidad para huecos

Profundidad máxima del hueco.	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
> 25.4 a 50.8 mm	L	M	H
> 50.8 mm	M	M	H

Fuente: Varela, 2002

Medida

Los huecos se miden contando aquellos que sean de severidades baja, media y alta, y registrándolos separadamente.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada. Parcheo parcial o profundo

M: Parcheo parcial o profundo

H: Parcheo profundo

Figura 45 Hueco de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 46 Hueco de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 47 Hueco de severidad alta



Fuente: Varela, 2002

14. Cruce de vía férrea

Descripción: Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.

Niveles de severidad

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad

M: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media

H: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta

Medida

El área del cruce se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si el cruce no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por los rieles debe registrarse como parte del cruce.

Opciones de reparación

L: No se hace nada

M: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce

H: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce

Figura 48 Cruce de vía férrea de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 49 Cruce de vía férrea de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 50 Cruce de vía férrea de severidad alta



Fuente: Varela, 2002

15. Ahuellamiento

Descripción: El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

Niveles de severidad

Profundidad media del ahuellamiento:

L: 6.0 a 13.0 mm

M: >13.0 mm a 25.0 mm

H: > 25.0 mm

Medida

El ahuellamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquel para calcular su profundidad media.

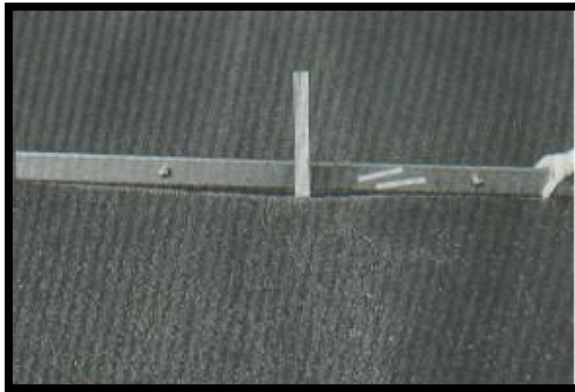
Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta

M: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta

H: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta

Figura 51 Ahuellamiento de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 52 Ahuellamiento de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 53 Ahuellamiento de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

16. Desplazamiento

Descripción: El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño sólo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Portland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Portland se incrementa causando el desplazamiento.

Niveles de severidad

L: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad

M: El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media

H: El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad

Medida

Los desplazamientos se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Los desplazamientos que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches, no como un daño separado.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo

H: Fresado. Parcheo parcial o profundo

Figura 54 Desplazamiento de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 55 Desplazamiento de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 56 Desplazamiento de severidad alta



Fuente: Varela, 2002

17. Grietas parabólicas (slippage)

Descripción: Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

Nivel de severidad

L: Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

Medida

El área asociada con una grieta parabólica se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.

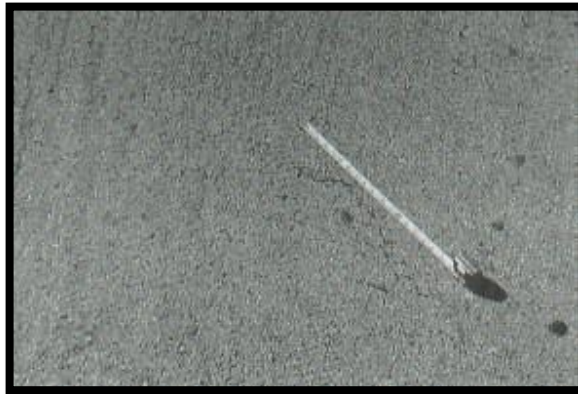
Opciones de reparación

L: No se hace nada. Parcheo parcial

M: Parcheo parcial

H: Parcheo parcial

Figura 57 Grieta parabólica (slippage) de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 58 Grieta parabólica (slippage) de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 59 Grieta parabólica (slippage) de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

18. Hinchamiento

Descripción: El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento – una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

Nivel de severidad

L: El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. El hinchamiento de baja severidad no es siempre fácil de ver, pero puede ser detectado conduciendo en el límite de velocidad sobre la sección de pavimento. Si existe un hinchamiento se producirá un movimiento hacia arriba

M: El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media

H: El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad

Medida

El hinchamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada

M: No se hace nada. Reconstrucción

H: Reconstrucción

Figura 60 Ejemplo de hinchamiento. El nivel de severidad se basa en el criterio de la calidad de tránsito



Fuente: Varela, 2002

19. Meteorización / desprendimiento de agregados

Descripción: La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad. Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

Niveles de severidad

L: Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda

M: Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda

H: Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto

Medida

La meteorización y el desprendimiento se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta

H: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción

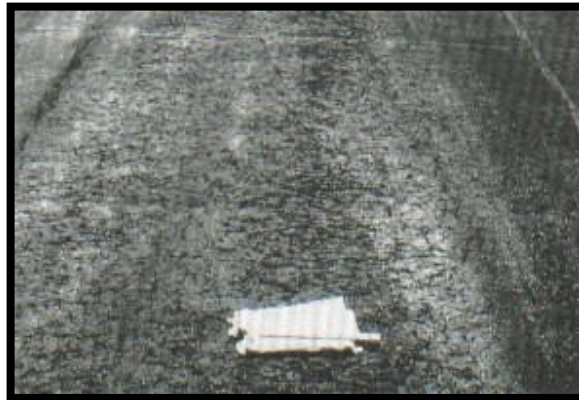
Para los niveles M y H, si el daño es localizado, por ejemplo, por derramamiento de aceite, se hace parcheo parcial.

Figura 61 Meteorización / desprendimiento de agregados de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 62 Meteorización / desprendimiento de agregados de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 63 Meteorización / desprendimiento de agregados de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

2.3.6.2. Fallas presentadas en pavimentos flexibles

1. Blowup – buckling (pandeo por explosión o estallido)

Descripción: Los blowups o buckles ocurren en tiempo cálido, usualmente en una grieta o junta transversal que no es lo suficientemente amplia para permitir la expansión de la losa. Por lo general, el ancho insuficiente se debe a la infiltración de materiales incompresibles en el espacio de la junta. Cuando la expansión no puede disipar suficiente presión, ocurrirá un movimiento hacia arriba de los bordes de la losa (Buckling) o fragmentación en la vecindad de la junta. También pueden ocurrir en los sumideros y en los bordes de las zanjas realizadas para la instalación de servicios públicos.

Niveles de Severidad

L: Causa una calidad de tránsito de baja severidad

M: Causa una calidad de tránsito de severidad media

H: Causa una calidad de tránsito de alta severidad

Medida

En una grieta, un blowup se cuenta como presente en una losa. Sin embargo, si ocurre en una junta y afecta a dos losas se cuenta en ambas. Cuando la severidad del blowup deja el pavimento inutilizable, este debe repararse de inmediato.

OPCIONES de Reparación

L: No se hace nada. Parcheo profundo o parcial

M: Parcheo profundo. Reemplazo de la losa

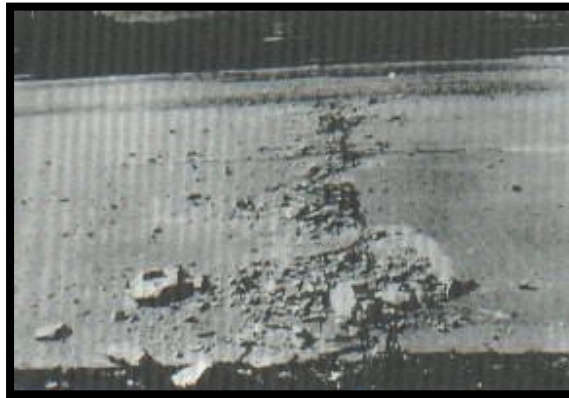
H: Parcheo profundo. Reemplazo de la losa

Figura 64 Blowup / Buckling de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 65 Blowup / Buckling de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 66 Blowup / Buckling de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

2. Grieta de esquina

Descripción: Una grieta de esquina es una grieta que intercepta las juntas de una losa a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de la misma en ambos lados, medida desde la esquina. Por ejemplo, una losa con dimensiones de 3.70 m por 6.10 m presenta una grieta a 1.50 m en un lado y a 3.70 m en el otro lado, esta grieta no se considera grieta de esquina sino grieta diagonal; sin embargo, una grieta que intercepta un lado a 1.20 m y el otro lado a 2.40 m si es una grieta de esquina. Una grieta de esquina se diferencia de un descascaramiento de esquina en que aquella se extiende verticalmente a través de todo el espesor de la losa, mientras que el otro intercepta la junta en un ángulo. Generalmente, la repetición de cargas combinada con la pérdida de soporte y los esfuerzos de alabeo originan las grietas de esquina.

Niveles de Severidad

L: La grieta está definida por una grieta de baja severidad y el área entre la grieta y las juntas está ligeramente agrietada o no presenta grieta alguna

M: Se define por una grieta de severidad media o el área entre la grieta y las juntas presenta una grieta de severidad media (M)

H: Se define por una grieta de severidad alta o el área entre la junta y las grietas está muy agrietada

Medida

La losa dañada se registra como una (1) losa si:

1. Sólo tiene una grieta de esquina.
2. Contiene más de una grieta de una severidad particular.
3. Contiene dos o más grietas de severidades diferentes.

Para dos o más grietas se registrará el mayor nivel de severidad. Por ejemplo, una losa tiene una grieta de esquina de severidad baja y una de severidad media, deberá contabilizarse como una (1) losa con una grieta de esquina media.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas de más de 3 mm

M: Sellado de grietas. Parcheo profundo

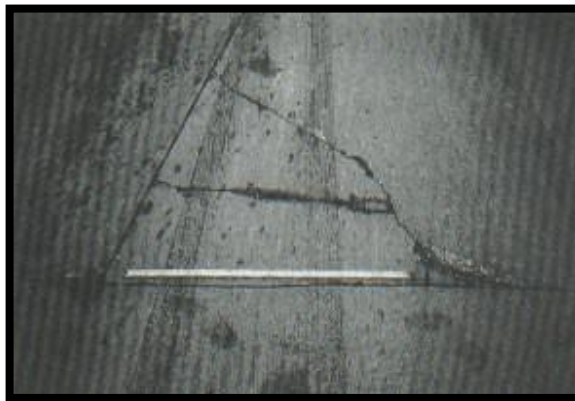
H: Parcheo profundo

Figura 67 Grieta de esquina de baja severidad



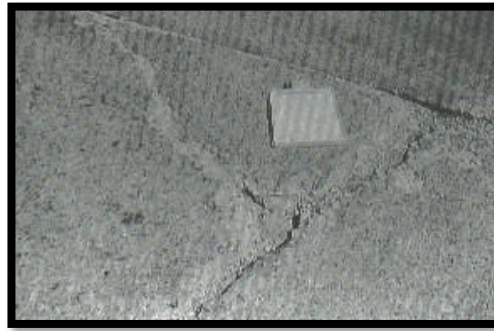
Fuente: Varela, 2002

Figura 68 Grieta de esquina de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 69 Grieta de esquina de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

3. Losa dividida

Descripción: La losa es dividida por grietas en cuatro o más pedazos debido a sobrecarga o a soporte inadecuado. Si todos los pedazos o grietas están contenidos en una grieta de esquina, el daño se clasifica como una grieta de esquina severa.

Niveles de severidad

En el Cuadro se anotan los niveles de severidad para losas divididas.

Tabla 4 Niveles de Severidad para Losa Dividida

Severidad de la mayoría de las grietas	Número de pedazos en la losa agrietada		
	4 a 5	6 a 8	8 o más
L	L	L	M
M	M	M	H
H	M	M	H

Fuente: Varela, 2002

Medida

Si la losa dividida es de severidad media o alta, no se contabiliza otro tipo de daño.

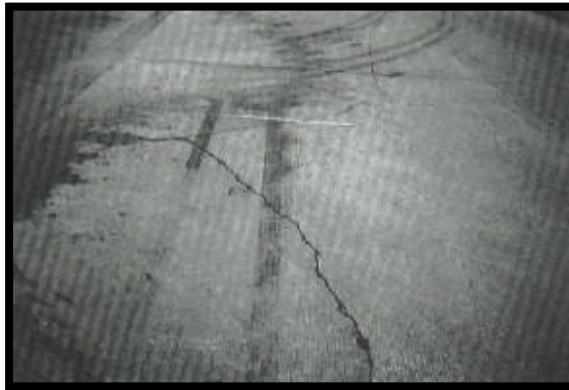
Opciones de reparación.

L: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor de 3mm

M: Reemplazo de la losa

H: Reemplazo de la losa

Figura 70 Losa dividida de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 71 Losa dividida de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 72 Losa dividida de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

4. Grieta de durabilidad “D”

Descripción: Las grietas de durabilidad “D” son causadas por la expansión de los agregados grandes debido al proceso de congelamiento y descongelamiento, el cual, con el tiempo, fractura gradualmente el concreto. Usualmente, este daño aparece como un patrón de grietas paralelas y cercanas a una junta o a una grieta lineal. Dado que el concreto se satura cerca de las juntas y las grietas, es común encontrar un depósito de color oscuro en las inmediaciones de las grietas “D”. Este tipo de daño puede llevar a la destrucción eventual de la totalidad de la losa.

Niveles de severidad

L: Las grietas “D” cubren menos del 15% del área de la losa. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unas pocas piezas pueden haberse desprendido

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Las grietas “D” cubren menos del 15% del área de la losa y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse con facilidad.
2. Las grietas “D” cubren más del 15% del área. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unos pocos pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente.

H: Las grietas “D” cubren más del 15% del área y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente

Medida

Cuando el daño se localiza y se califica en una severidad, se cuenta como una losa. Si existe más de un nivel de severidad, la losa se cuenta como poseedora del nivel de daño más alto. Por ejemplo, si grietas “D” de baja y media severidad están en la misma losa, la losa se registra como de severidad media únicamente.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada

M: Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas

H: Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas. Reemplazo de la losa

Figura 73 Grieta de durabilidad de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 74 Grieta de durabilidad de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 75 Grieta de durabilidad de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

5. Escala

Descripción: Escala es la diferencia de nivel a través de la junta. Algunas causas comunes que la originan son:

1. Asentamiento debido una fundación blanda.
2. Bombeo o erosión del material debajo de la losa.
3. Alabeo de los bordes de la losa debido a cambios de temperatura o humedad.

Niveles de Severidad

Se definen por la diferencia de niveles a través de la grieta o junta como se indica en el Cuadro

Tabla 5 Niveles de Severidad para Escala

Nivel de severidad	Diferencia en elevación
L	3 a 10 mm
M	10 a 19 mm
H	Mayor que 19 mm

Fuente: Varela, 2002

Medida

La escala a través de una junta se cuenta como una losa. Se cuentan únicamente las losas afectadas. Las escalas a través de una grieta no se cuentan como daño, pero se consideran para definir la severidad de las grietas.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada. Fresado

M: Fresado

H: Fresado

Figura 76 Escala de baja severidad



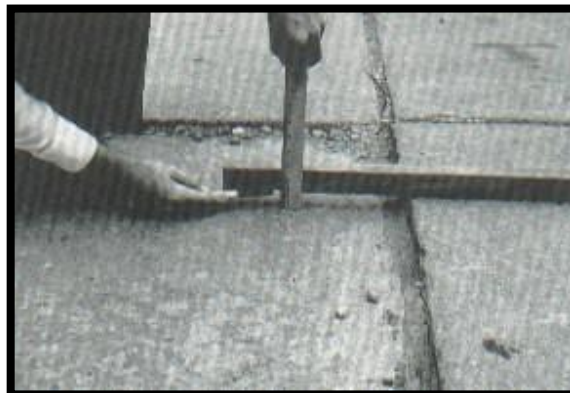
Fuente: Varela, 2002

Figura 77 Escala de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 78 Escala de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

6. Daño del sello de la junta

Descripción: Es cualquier condición que permite que suelo o roca se acumule en las juntas, o que permite la infiltración de agua en forma importante. La acumulación de material incompresible impide que la losa se expanda y puede resultar en fragmentación, levantamiento o descascaramiento de los bordes de la junta. Un material llenante adecuado impide que lo anterior ocurra. Los tipos típicos del daño de junta son:

1. Desprendimiento del sellante de la junta.
2. Extrusión del sellante.
3. Crecimiento de vegetación.
4. Endurecimiento del material llenante (oxidación).
5. Pérdida de adherencia a los bordes de la losa.
6. Falta o ausencia del sellante en la junta.

Niveles de Severidad

L: El sellante está en una condición buena en forma general en toda la sección. Se comporta bien, con solo daño menor

M: Está en condición regular en toda la sección, con uno o más de los tipos de daño que ocurre en un grado moderado. El sellante requiere reemplazo en dos años

H: Está en condición generalmente buena en toda la sección, con uno o más de los daños mencionados arriba, los cuales ocurren en un grado severo. El sellante requiere reemplazo inmediato

Medida

No se registra losa por losa, sino que se evalúa con base en la condición total del sellante en toda el área.

Opciones de reparación

L: No se hace nada

M: Resellado de juntas

H: Resellado de juntas

Figura 79 Daño del sello de junta de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 80 Daño del sello de junta de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 81 Daño del sello de junta de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

7. Desnivel carril / berma

Descripción: El desnivel carril / berma es la diferencia entre el asentamiento o erosión de la berma y el borde del pavimento. La diferencia de niveles puede constituirse como una amenaza para la seguridad. También puede ser causada por el incremento de la infiltración de agua.

Nivel de severidad

L: La diferencia entre el borde del pavimento y la berma es de 25.0 mm a 51.0 mm

M: La diferencia de niveles es de 51.0 mm a 102.0 mm

H: La diferencia de niveles es mayor que 102.0 mm

Medida

El desnivel carril / berma se calcula promediando los desniveles máximo y mínimo a lo largo de la losa. Cada losa que exhiba el daño se mide separadamente y se registra como una losa con el nivel de severidad apropiado.

OPCIONES de reparación

L, M, H: Renivelación y llenado de bermas para coincidir con el nivel del carril.

Figura 82 Desnivel carril / berma de baja severidad



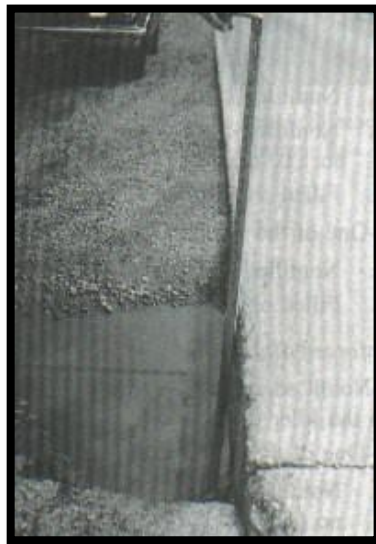
Fuente: Varela, 2002

Figura 83 Desnivel carril / berma de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 84 Desnivel carril / berma de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

8. Grietas lineales (grietas longitudinales, transversales y diagonales)

Descripción: Estas grietas, que dividen la losa en dos o tres pedazos, son causadas usualmente por una combinación de la repetición de las cargas de tránsito y el alabeo por gradiente térmico o de humedad. Las losas divididas en cuatro o más pedazos se contabilizan como losas divididas. Comúnmente, las grietas de baja severidad están

relacionadas con el alabeo o la fricción y no se consideran daños estructurales importantes. Las grietas capilares, de pocos pies de longitud y que no se propagan en toda la extensión de la losa, se contabilizan como grietas de retracción.

Niveles de severidad

Losas sin refuerzo

L: Grietas no selladas (incluye llenante inadecuado) con ancho menor que 12.0 mm, o grietas selladas de cualquier ancho con llenante en condición satisfactoria. No existe escala.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada con ancho entre 12.0 mm y 51.0 mm.
2. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 51.0 mm con escala menor que 10.0 mm.
3. Grieta sellada de cualquier ancho con escala menor que 10.0 mm.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada con ancho mayor que 51.0 mm.
2. Grieta sellada o no de cualquier ancho con escala mayor que 10.0 mm.

Losas con refuerzo

L: Grietas no selladas con ancho entre 3.0 mm y 25.0 mm, o grietas selladas de cualquier ancho con llenante en condición satisfactoria. No existe escala.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada con un ancho entre 25.0 mm y 76.0 mm y sin escala.
2. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 76.0 mm con escala menor que 10.0 mm.
3. Grieta sellada de cualquier ancho con escala hasta de 10.0 mm.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada de más de 76.0 mm de ancho.
2. Grieta sellada o no de cualquier ancho y con escala mayor que 10.0 mm.

Medida

Una vez se ha establecido la severidad, el daño se registra como una losa. Si dos grietas de severidad media se presentan en una losa, se cuenta dicha losa como una poseedora de grieta de alta severidad. Las losas divididas en cuatro o más pedazos se cuentan como losas divididas. Las losas de longitud mayor que 9.10 m se dividen en “losas” de aproximadamente igual longitud y que tienen juntas imaginarias, las cuales se asumen están en perfecta condición.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas más anchas que 3.0 mm

M: Sellado de grietas

H: Sellado de grietas. Parcheo profundo. Reemplazo de la losa

Figura 85 Grietas lineales de baja severidad en losa de concreto simple



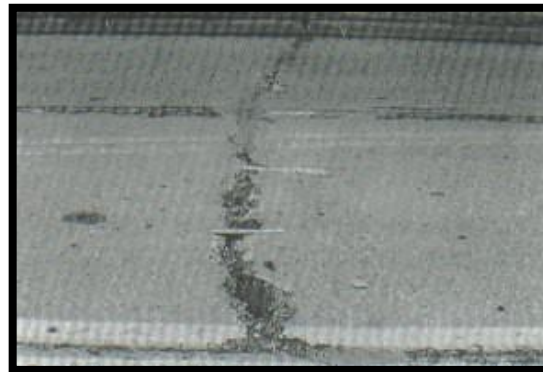
Fuente: Varela, 2002

Figura 86 Grietas lineales de severidad media en losa de concreto reforzado



Fuente: Varela, 2002

Figura 87 Grietas lineales de alta severidad en losa de concreto simple



Fuente: Varela, 2002

9. Parche grande (mayor de 0.45 m²) y acometidas de servicios públicos

Descripción: Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por material nuevo. Una excavación de servicios públicos (utility cut) es un parche que ha reemplazado el pavimento original para permitir la instalación o mantenimiento de instalaciones subterráneas. Los niveles de severidad de una excavación de servicios son los mismos que para el parche regular.

Niveles de severidad

L: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño

M: El parche esta moderadamente deteriorado o moderadamente descascarado en sus bordes. El material del parche puede ser retirado con esfuerzo considerable

H: El parche está muy dañado. El estado de deterioro exige reemplazo

Medida

Si una losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se cuenta como una losa que tiene ese daño. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad. Si la causa del parche es más severa, únicamente el daño original se cuenta.

OPCIONES para Reparación

L: No se hace nada

M: Sellado de grietas. Reemplazo del parche

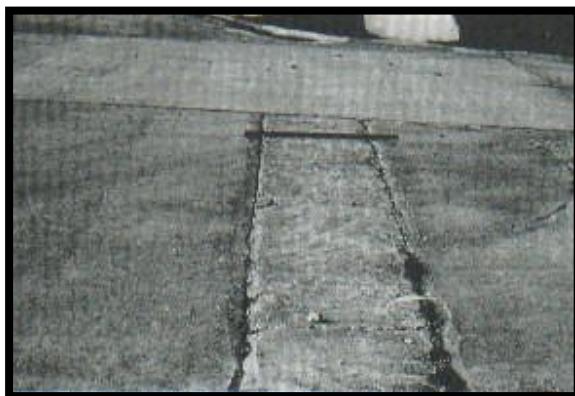
H: Reemplazo del parche

Figura 88 Parche grande y acometidas de servicios públicos de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 89 Parche y acometida de servicios públicos de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 90 Parche grande y acometidas de servicios públicos de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

10. Parche pequeño (menor de 0.45 m²)

Descripción: Es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por un material de relleno.

Niveles de Severidad

L: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño

M: El parche está moderadamente deteriorado. El material del parche puede ser retirado con considerable esfuerzo

H: El parche está muy deteriorado. La extensión del daño exige reemplazo

Medida

Si una losa presenta uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se registra como una losa que tiene ese daño. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se registra como una losa con el mayor nivel de daño. Si la causa del parche es más severa, únicamente se contabiliza el daño original.

OPCIONES para Reparación

L: No se hace nada

M: No se hace nada. Reemplazo del parche

H: Reemplazo del parche

Figura 91 Parche pequeño de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 92 Parche pequeño de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 93 Parche pequeño de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

11. Pulimento de agregados

Descripción: Este daño se causa por aplicaciones repetidas de cargas del tránsito. Cuando los agregados en la superficie se vuelven suaves al tacto, se reduce considerablemente la adherencia con las llantas. Cuando la porción del agregado que se extiende sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye significativamente a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados que se extiende sobre el concreto es despreciable y suave al tacto. Este tipo de daño se reporta cuando el resultado de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha disminuido significativamente respecto a evaluaciones previas.

Niveles de Severidad

No se definen grados de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de incluirlo en un inventario de la condición y calificarlo como un defecto.

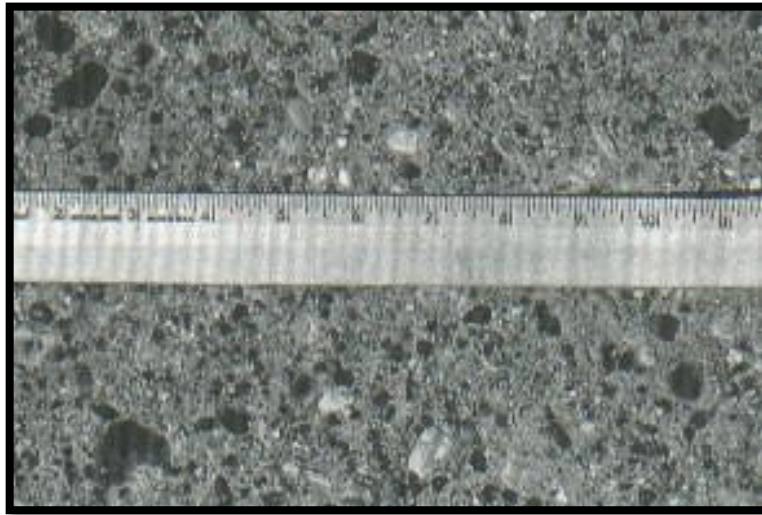
Medida

Una losa con agregado pulido se cuenta como una losa.

Opciones de reparación

L, M y H: Ranurado de la superficie. Sobrecarpeta

Figura 94 Pulimento de agregados



Fuente: Varela, 2002

12. Popouts (desprendimiento de concreto)

Descripción: Un popout es un pequeño pedazo de pavimento que se desprende de la superficie del mismo. Puede deberse a partículas blandas o fragmentos de madera rotos y desgastados por el tránsito. Varían en tamaño con diámetros entre 25.0 mm y 102.0 mm y en espesor de 13.0 mm a 51.0 mm.

Niveles de severidad

No se definen grados de severidad. Sin embargo, el popout debe ser extenso antes que se registre como un daño. La densidad promedio debe exceder aproximadamente tres por metro cuadrado en toda el área de la losa.

Medida

Debe medirse la densidad del daño. Si existe alguna duda de que el promedio es mayor que tres popout por metro cuadrado, deben revisarse al menos tres áreas de un metro cuadrado elegidas al azar. Cuando el promedio es mayor que dicha densidad, debe contabilizarse la losa.

Opciones de reparación

L, M y H: No se hace nada

Figura 95 Popout



Fuente: Varela, 2002

13. Bombeo

Descripción: El bombeo es la expulsión de material de la fundación de la losa a través de las juntas o grietas. Esto se origina por la deflexión de la losa debida a las cargas. Cuando una carga pasa sobre la junta entre las losas, el agua es primero forzada bajo losa delantera y luego hacia atrás bajo la losa trasera. Esta acción erosiona y eventualmente remueve las partículas de suelo lo cual generan una pérdida progresiva del soporte del pavimento. El bombeo puede identificarse por manchas en la superficie y la evidencia de material de base o subrasante en el pavimento cerca de las juntas o grietas. El bombeo cerca de las juntas es causado por un sellante pobre de la junta e indica la pérdida de soporte. Eventualmente, la repetición de cargas producirá grietas. El bombeo también puede ocurrir a lo largo del borde de la losa causando pérdida de soporte.

Niveles de Severidad

No se definen grados de severidad. Es suficiente indicar la existencia.

Medida

El bombeo de una junta entre dos losas se contabiliza como dos losas. Sin embargo, si las juntas restantes alrededor de la losa tienen bombeo, se agrega una losa por junta adicional con bombeo.

OPCIONES de reparación

L, M y H: Sellado de juntas y grietas. Restauración de la transferencia de cargas

Figura 96 Bombeo



Fuente: Varela, 2002

Figura 97 Bombeo



Fuente: Varela, 2002

14. Punzonamiento

Descripción: Este daño es un área localizada de la losa que está rota en pedazos. Puede tomar muchas formas y figuras diferentes, pero, usualmente, está definido por una grieta y una junta o dos grietas muy próximas, usualmente con 1.52 m entre sí. Este daño se origina por la repetición de cargas pesadas, el espesor inadecuado de la losa, la pérdida de soporte de la fundación o una deficiencia localizada de construcción del concreto (por ejemplo, hormigueros)

Niveles de Severidad

Tabla 6 Niveles de Severidad para Punzonamiento

Severidad de la mayoría de las grietas	Número de pedazo		
	2 a 3	4 a 5	Más de 5
L	L	L	M
M	L	M	H
H	M	H	H

Fuente: Varela, 2002

Medida

Si la losa tiene uno o más punzonamientos, se contabiliza como si tuviera uno en el mayor nivel de severidad que se presente.

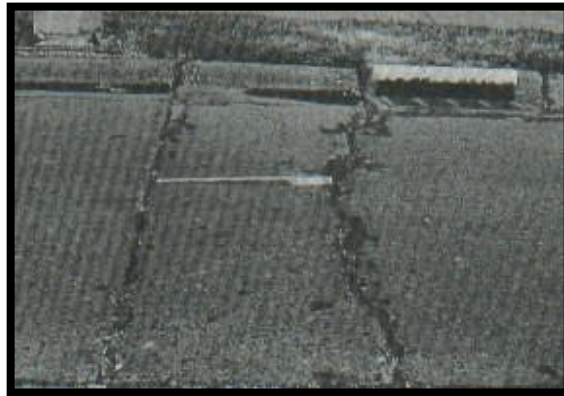
Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas

M: Parcheo profundo

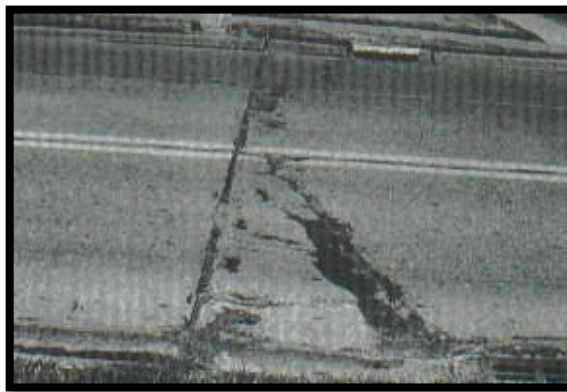
H: Parcheo profundo

Figura 98 Punzonamiento de baja severidad



Fuente: Varela, 2002

Figura 99 Punzonamiento de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 100 Punzonamiento de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

15. Cruce de vía férrea

Descripción: El daño de cruce de vía férrea se caracteriza por depresiones o abultamientos alrededor de los rieles.

Niveles de severidad

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad

M: El cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media

H: El cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de alta severidad

Medida

Se registra el número de losas atravesadas por los rieles de la vía férrea. Cualquier gran abultamiento producido por los rieles debe contarse como parte del cruce.

Opciones de reparación

L: No se hace nada

M: Parcheo parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce

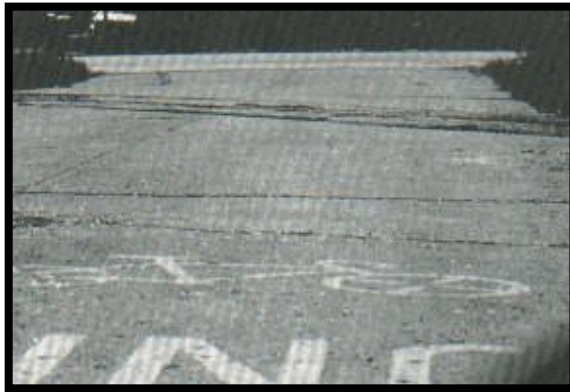
H: Parcheo parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce

Figura 101 Cruce de vía férrea de baja severidad



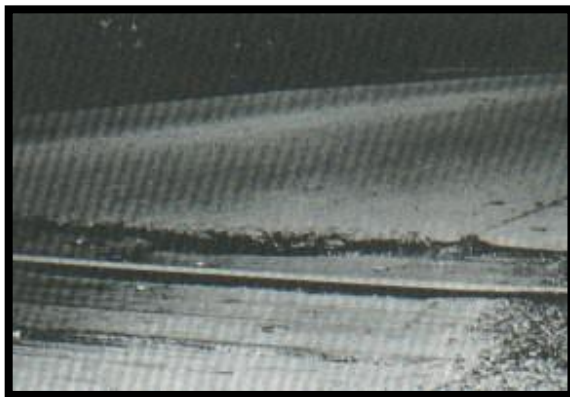
Fuente: Varela, 2002

Figura 102 Cruce de vía férrea de severidad media



Fuente: Varela, 2002

Figura 103 Cruce de vía férrea de alta severidad



Fuente: Varela, 2002

16. Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado

Descripción: El mapa de grietas o craquelado (crazing) se refiere a una red de grietas superficiales, finas o capilares, que se extienden únicamente en la parte superior de la superficie del concreto. Las grietas tienden a interceptarse en ángulos de 120 grados. Generalmente, este daño ocurre por exceso de manipulación en el terminado y puede producir el descamado, que es la rotura de la superficie de la losa a una profundidad aproximada de 6.0 mm a 13.0 mm. El descamado también puede ser causado por incorrecta construcción y por agregados de mala calidad.

Niveles de Severidad

L: El craquelado se presenta en la mayor parte del área de la losa; la superficie está en buena condición con solo un descamado menor presente

M: La losa está descamada, pero menos del 15% de la losa está afectada

H: La losa está descamada en más del 15% de su área

Medida

Una losa descamada se contabiliza como una losa. El craquelado de baja severidad debe contabilizarse únicamente si el descamado potencial es inminente, o unas pocas piezas pequeñas se han salido.

OPCIONES para Reparación

L: No se hace nada

M: No se hace nada. Reemplazo de la losa

H: Parcheo profundo o parcial. Reemplazo de la losa. Sobrecarpeta

Figura 104 Desconchamiento / Mapa de grietas / Craquelado de baja severidad.



Fuente: Varela, 2002

Figura 105 Desconchamiento / Mapa de grietas / Craquelado de severidad media.



Fuente: Varela, 2002

Figura 106 Desconchamiento / Mapa de grietas / Craquelado de alta severidad.



Fuente: Varela, 2002

17. Grietas de retracción

Descripción: Son grietas capilares usualmente de unos pocos pies de longitud y no se extienden a lo largo de toda la losa. Se forman durante el fraguado y curado del concreto y generalmente no se extienden a través del espesor de la losa.

Niveles de Severidad

No se definen niveles de severidad. Basta con indicar que están presentes.

Medida

Si una o más grietas de retracción existen en una losa en particular, se cuenta como una losa con grietas de retracción.

OPCIONES de reparación

L, M y H: No se hace nada

Figura 107 Grietas de contracción.



Fuente: Varela, 2002

18. Descascaramiento de esquina

Descripción: Es la rotura de la losa a 0.6 m de la esquina aproximadamente. Un descascaramiento de esquina difiere de la grieta de esquina en que el descascaramiento usualmente buza hacia abajo para interceptar la junta, mientras que la grieta se extiende verticalmente a través de la esquina de losa. Un descascaramiento menor que 127 mm medidos en ambos lados desde la grieta hasta la esquina no deberá registrarse.

Niveles de severidad

En el Cuadro 38.1 se listan los niveles de severidad para el descascaramiento de esquina. El descascaramiento de esquina con un área menor que 6452 mm^2 desde la grieta hasta la esquina en ambos lados no deberá contarse.

Tabla 7 Niveles de Severidad para Descascaramiento de Esquina.

Profundidad del Descascaramiento	Dimensiones de los lados del descascaramiento	
	127.0 x 127.0 mm a 305.0 x 305.0 mm	Mayor que 305.0 x 305.0 mm
Menor de 25.0 mm	L	L
> 25.0 mm a 51.0 mm	L	M
Mayor de 51.0 mm	M	H

Fuente: Varela, 2002

Medida

Si en una losa hay una o más grietas con descascaramiento con el mismo nivel de severidad, la losa se registra como una losa con descascaramiento de esquina. Si ocurre más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad.

OPCIONES de reparación

L: No se hace nada

M: Parcheo parcial

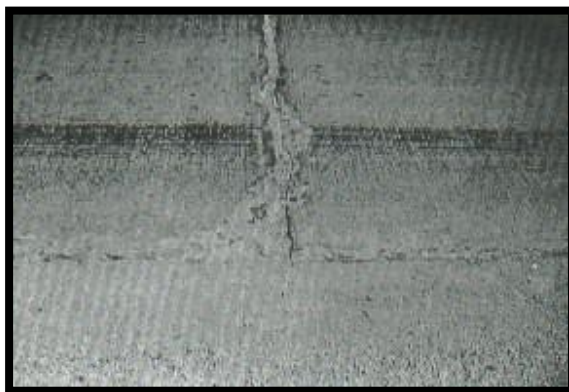
H: Parcheo parcial

Figura 108 Descascaramiento de esquina de baja severidad.



Fuente: Varela, 2002

Figura 109 Descascaramiento de esquina de severidad media.



Fuente: Varela, 2002

Figura 110 Descascaramiento de esquina de alta severidad.



Fuente: Varela, 2002

19. Descascaramiento de junta

Descripción: Es la rotura de los bordes de la losa en los 0.60 m de la junta. Generalmente no se extiende verticalmente a través de la losa si no que intercepta la junta en ángulo. Se origina por:

Esfuerzos excesivos en la junta causados por las cargas de tránsito o por la infiltración de materiales incompresibles.

Concreto débil en la junta por exceso de manipulación.

Niveles de Severidad

En el Cuadro 39.1 se ilustran los niveles de severidad para descascaramiento de junta. Una junta desgastada, en la cual el concreto ha sido desgastado a lo largo de toda la junta se califica como de baja severidad.

Tabla 8 Niveles de Severidad Descascaramiento de Junta

Fragmentos del Descascaramiento	Ancho del descascaramiento	Longitud del descascaramiento	
		< 0.6m	> 0.6 m
Duros. No puede removerse fácilmente (pueden faltar algunos pocos fragmentos).	< 102 mm	L	L
	> 102 mm	L	L
Suelos. Pueden removerse y algunos fragmentos pueden faltar. Si la mayoría o todos los fragmentos faltan, el descascaramiento es superficial, menos de 25.0 mm.	< 102 mm	L	M
	>102 mm	L	M
Desaparecidos. La mayoría, o todos los fragmentos han sido removidos.	< 102 mm	L	M
	> 102 mm	M	H

Fuente: Varela, 2002

Medida

Si el descascaramiento se presenta a lo largo del borde de una losa, esta se cuenta como una losa con descascaramiento de junta. Si está sobre más de un borde de la misma losa, el borde que tenga la mayor severidad se cuenta y se registra como una losa. El descascaramiento de junta también puede ocurrir a lo largo de los bordes de dos losas adyacentes. Si este es el caso, cada losa se contabiliza con descascaramiento de junta.

OPCIONES para Reparación

L: No se hace nada

M: Parcheo parcial

H: Parcheo parcial. Reconstrucción de la junta

Figura 111 Descascaramiento de junta de baja severidad.



Fuente: Varela, 2002

Figura 112 Descascaramiento de junta de severidad media.



Fuente: Varela, 2002

Figura 113 Descascaramiento de junta de alta severidad.



Fuente: Varela, 2002

2.3.6.3.1. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE PCI

Una hoja de datos se requiere por cada unidad de muestra. El inspector llena el formulario de datos caminando por cada unidad de muestra y registrando los deterioros medidos. El deterioro se clasifica como gravedad baja, media o alta. Con la suma TOTAL de cada falla se obtiene el porcentaje de la densidad por cada tipo de falla. A través de curvas para cada tipo de falla y el valor de densidad, se obtienen los Valores de Reducción (VR) para cada tipo de deterioro y gravedad. Se calcula gráficamente o a través de ecuaciones el “Número máximo admisible de Valores Reducidos” (m) y con este valor, se pasa a calcular el máximo Valor de Reducción Corregido (VRC) sumando los valores individuales y utilizando curvas de correlación. Obtenido el máximo VRC se obtiene el valor del PCI con la ecuación:

$$PCI = 100 - \text{Máximo VRC}$$

El valor de PCI de toda una sección se calculó promediando los valores de PCI de cada unidad de muestra. (ABC A. B., 2011)

2.4. Drones

Un vehículo aéreo no tripulado, comúnmente conocido como dron, es un vehículo sin tripulación, capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido. (DRONE, 2021)

2.4.1. Tipos de drones

Son el tipo de dron más extendido y utilizado tanto a nivel de ocio como profesional. Son conocidos también como multirrotores y se pueden clasificar a su vez en:

- Tricópteros (3 motores).
- Cuadricópteros (4 motores).
- Hexacópteros (6 motores).
- Octacópteros (8 motores).

2.4.2. Funciones que puede cumplir un dron

Los drones tienen un gran potencial en áreas muy diversas, ya que puede desplazarse rápidamente sobre un terreno irregular o accidentado y superar cualquier tipo de obstáculo

ofreciendo imágenes o capturando otro tipo de datos a vista de pájaro, gracias a los dispositivos que puede transportar (cámaras, sensores...) sin riesgos para las personas.

Por ello, Ferrovial está haciendo uso de drones en muchas de sus actividades, eligiendo el tipo de dron más adecuado y los sensores que se deben embarcar (cámaras, sensores lidar, etc.) en función del caso de uso y del tipo de datos que se desean medir en cada vuelo.

Adicionalmente, el Digital Hub está promoviendo el uso de drones, ofreciendo soporte a los proyectos para poder entender mejor la regulación y estar al día de la normativa vigente) y creando una herramienta “FLY-AI” que permite entre otras cosas, gestionar de manera eficiente la documentación necesaria para el uso de drones, la aprobación interna de vuelos y la inspección de infraestructuras de manera automática mediante el uso de algoritmos de inteligencia artificial.

2.4.2.1. Inspección de infraestructuras

La inspección visual de infraestructuras es uno de los ámbitos en los que ya se emplean vehículos aéreos no tripulados. Los motivos principales son dos: por un lado, el ahorro de costes derivado de la facilidad relativa con la que se accede a la infraestructura y por otro, una disminución importante del riesgo para el personal.

La inspección de líneas de transmisión en Chile es uno de los ejemplos del uso de drones en Grupo Ferrovial.

2.4.2.2. Obras civiles

A partir de drones con sensor lidar o cámaras de alta resolución, se pueden realizar levantamientos topográficos y modelos tridimensionales. Esto permite generar planos, analizar la evolución de la obra y calcular volúmenes de tierra extraídos, entre otros.

2.4.2.3. Drones y medio ambiente

En materia medioambiental los drones también suman. Un dron equipado con cámara termográfica puede darnos por ejemplo una visual muy completa del estado de un vertedero: puntos calientes, zonas de humedad, etc. o puede servir para sobrevolar zonas de vegetación extensas y facilitar así las tareas de mantenimiento de las mismas.

2.4.2.4.En carreteras

En el caso de conservación de viaductos próximos a una carretera, fletar un dron para hacer el análisis, es mucho más económico y seguro que descolgar a personal especializado o que enviar un helicóptero, alternativas que además consumen mucho tiempo. No evita la posterior actuación en caso de detección de un problema, pero sí supone el alivio de algunos trabajos que antes requerían de personal in situ.

2.4.2.5.En aeropuertos

Ya existen proyectos de control aéreo y seguridad en las pistas de los aeropuertos. Un ejemplo fue el proyecto en el Aeropuerto de Southampton, consistente en un dron con forma de depredador, que redujo las aves en pista un 74%, lo que se traduce en una gran disminución de los costes de operación del aeropuerto.

2.4.3.Fotogrametría aérea con drones

La fotogrametría es una técnica que tiene por objetivo estudiar y definir de manera precisa, las dimensiones, formas y posición de un objeto en el espacio. Para ello, utilizamos las medidas obtenidas de ese objeto, a partir de fotografías que se le han realizado. (DRONE, 2021)

El uso de drones ha supuesto un gran avance en labores de fotogrametría aérea. Ahora es posible obtener resoluciones mucho mayores además de aumentar significativamente la rapidez en su realización. (DRONE, 2021)

Una vez hechas las fotografías, se crea una nube de puntos georreferenciada. Esa nube de puntos se exporta en los formatos estándares para su procesamiento. Esto hace posible la creación de MDT (modelos digitales del terreno) y MDS (modelos digitales de superficie). Basándonos en ellos, podemos efectuar distintos tipos de mediciones. (DRONE, 2021)

Figura 114 Aérea con drones



Fuente: (DRONE, 2021)

2.4.4.Ortofoto

2.4.4.1.Características principales

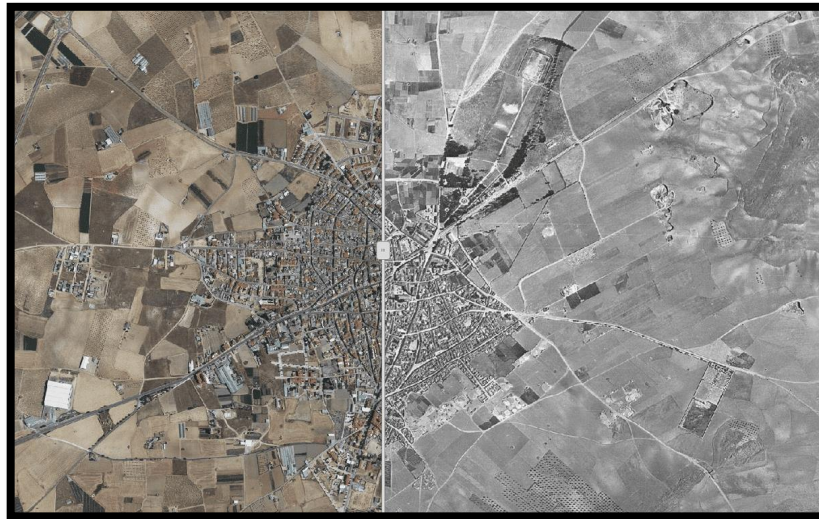
La ortofoto es una imagen fotográfica del terreno cuya proyección central ha sido transformada en una proyección ortogonal. De esta forma, con esta transformación, se consigue eliminar todas las distorsiones planimétricas que son causadas por la inclinación de la cámara aérea. También existen distorsiones diferentes causadas por el desplazamiento del relieve. De este modo, se elimina la variación de escala existente en el fotograma no rectificado. Estas variaciones son debidas a las diferencias que existen en el nivel del terreno fotografiado y las inclinaciones que pueden tener las cámaras al momento de la toma de la foto. (Portillo, s.f.).

Gracias a este método de obtención de información se puede conseguir una escala única y exacta para toda la superficie de la ortofoto. Para poder transformar una proyección central a otra ortogonal que es de utilidad se emplea el procedimiento llamado rectificación. Se trata de un proceso que intenta corregir las variaciones de pendientes que presenta un terreno y el grado de inclinación de la cámara con respecto al terreno. Si esta diferencia es significativa la rectificación se encarga de corregir el modelo estereoscópico a través de líneas elementales de acuerdo con el desnivel que tenga el terreno. (Portillo, s.f.)

Una vez se ha tenido esta información, a la ortofoto se le agrega información altimétrica, una cuadrícula UTM y toponimia. Un derivado de la ortofoto es el ortofoto plano. Se trata de un sector urbano al cual se le agrega la toponimia y algunos símbolos convencionales en una cuadrícula. Normalmente sirve para identificar todos los elementos de un ecosistema urbano. (Portillo, s.f.)

2.4.4.2. Usos de la Ortofoto

Figura 115 Ortofoto



Fuente: (Portillo, s.f.)

Se puede utilizar en casi todas las actividades donde hacen falta fotografías aéreas y cartografía sistémica o regular. La ventaja que tiene la ortofoto es que se puede lograr una gran exactitud que permite efectuar estudios monotemáticos con bastante facilidad. Estos estudios se pueden combinar con otros planes socioeconómicos de una región. (Portillo, s.f.)

Otra de las ventajas adicionales que ofrece la ortofotografía es que se pueden elaborar bases de placas o cintas magnéticas de almacenamiento de datos. Gracias a ello, existe la posibilidad de elaborar con facilidad una recopilación estadística que pueda registrar todos los cambios que ha experimentado un área determinada con el paso del tiempo. De esta forma, podemos tener información no sólo del relieve actual si no del cambio que ha tenido un relieve con el paso del tiempo. (Portillo, s.f.)

En muchos países se ha logrado buenos resultados con la aplicación de ortofotos. Cabe mencionar que existen planes socioeconómicos donde se encuentran más de 12.000 a ortofotos a diferentes escalas. En los Estados Unidos se utilizan las ortofotos para complementar todos los mapas y obtener mayor cantidad información. También se puede utilizar para obtener datos sobre la propiedad del suelo o las características del mismo. Se

puedan utilizarlas ortofotos para dividir los diferentes usos que puede tener un suelo, ya sea agrícola, forestal o urbano, entre otros. (Portillo, s.f.)

Entre los usos de las ortofotos encontramos los fiscales. Adicionalmente se prevé la utilización de esta información con otros propósitos como es la planificación y la zonificación. Gracias a que puede complementar la información que se obtiene de los mapas se puede utilizar para mejorar la seguridad pública y el control de tránsito o, protección de zonas contra incendios, ayuda al cumplimiento de la ley, tiene diversos propósitos de utilidad pública, controla las tierras y su propiedad y se pueden llegar a negociar la compra venta de propiedades y planos gracias a la ortofoto. (Portillo, s.f.)

CAPÍTULO 3

APLICACIÓN

CAPÍTULO 3

APLICACIÓN

El presente estudio desarrolla la metodología de evaluación por métodos directos e indirectos. Para el primero se hará la auscultación visual y relevamiento tradicional con el uso de instrumentos de medición tales como cintas métricas, reglas y su respectiva planilla de registro. El método indirecto realiza el empleando ortofotos georreferenciadas obtenidas por dron.

Posteriormente a las visitas y recolección de datos de campo mencionados anteriormente se procederá a aplicar la metodología del PCI, determinando así el cálculo de la severidad, valor deducido, el número máximo admisible de valores deducidos, el máximo valor deducido corregido para luego determinar el PCI e identificar la escala de clasificación en cada unidad de muestra analizada y finalmente determinar la condición del pavimento según la escala para cada una de las mediciones, comparándolas en sus resultados.

3.1.Ubicación del tramo de estudio

La vía en estudio recorre zonas agrícolas y de producción en su mayoría de vid. Al realizar el recorrido se observan pequeñas viviendas localizadas prácticamente a metros de la vía. Si bien existe vegetación en gran parte de la zona, la misma justamente ha atravesado procesos de raleo, permitiendo contar con una visibilidad de un más de 95% sobre el pavimento.

Figura 116 Tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.2. Georreferenciación de la información

A continuación, se muestran los datos obtenidos por georreferenciación NTRIP.

Tabla 9 Georreferenciación de información

Número	N	E	Z	Código
1	7.600.780,05	328.543,63	1752,527	1_1
2	7.600.712,18	328.545,23	1755,464	1_2
3	7.601.266,96	328.489,02	1776,584	2_1
4	7.601.218,03	328.530,11	1773,559	2_2
5	7.601.757,22	328.312,61	1775,295	3_1
6	7.601.697,89	328.318,70	1779,926	3_2
7	7.602.274,34	328.204,00	1744,569	4_1
8	7.602.209,73	328.223,49	1747,23	4_2
9	7.602.794,87	328.076,61	1740,924	5_1
10	7.602.739,26	328.090,01	1738,338	5_2
11	7.603.158,70	327.802,90	1773,051	6_1
12	7.603.121,87	327.769,95	1769,175	6_2
13	7.603.456,69	328.147,42	1812,385	7_1
14	7.603.398,57	328.121,73	1807,627	7_2
15	7.603.900,71	328.427,77	1820,661	8_1
16	7.603.851,97	328.399,29	1821,613	8_2
17	7.604.409,20	328.535,38	1825,889	9_1
18	7.604.366,38	328.516,98	1827,672	9_medio
19	7.604.358,44	328.514,89	1827,874	9_2
20	7.604.599,01	329.011,49	1827,118	10_1
21	7.604.595,77	328.956,13	1828,587	10_2
22	7.604.841,21	329.438,53	1823,636	11_1
23	7.604.794,41	329.413,86	1820,432	11_2
24	7.605.297,98	329.707,63	1832,844	12_1
25	7.605.254,65	329.689,09	1833,515	12_2
26	7.605.757,16	329.983,40	1826,638	13_1
27	7.605.699,23	329.948,45	1821,788	13_2
28	7.606.215,46	330.274,71	1849,546	14_1
29	7.606.166,99	330.232,74	1848,561	14_2
30	7.606.572,98	330.683,10	1842,865	15_1
31	7.606.539,23	330.620,05	1845,783	15_2
32	7.606.638,32	331.103,03	1836,597	16_1
33	7.606.676,12	331.139,85	1836,858	16_2

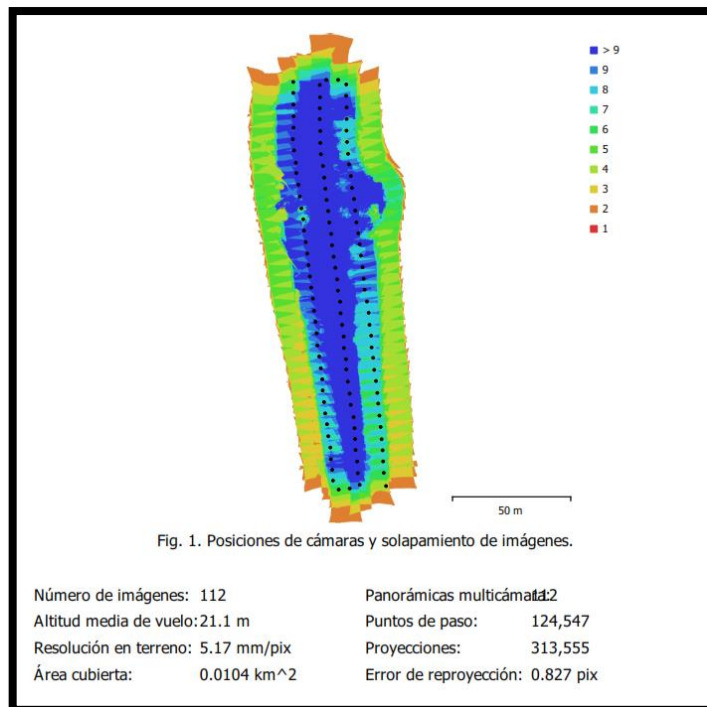
Fuente: Elaboración propia

Figura 117 TRAMO 13. Punto de control terrestre



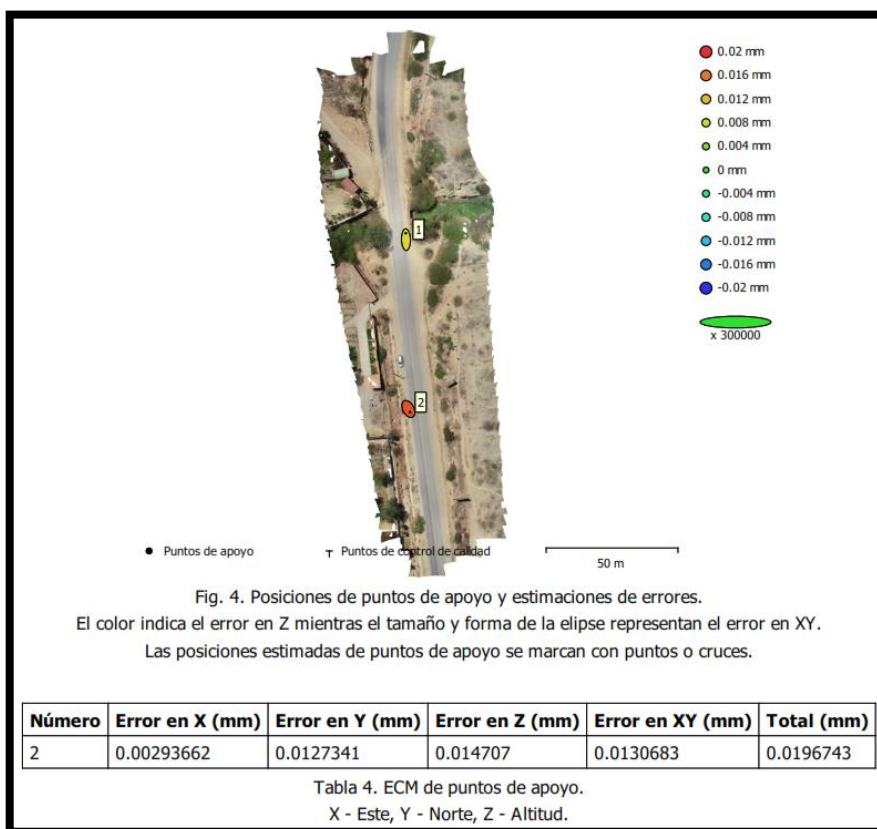
Fuente: Elaboración propia

Figura 118 Datos de levantamiento. Tramo 16



Fuente: Elaboración propia

Figura 119 Puntos de control terrestre. Tramo 16



Fuente: Elaboración propia

3.3.Unidades de muestreo

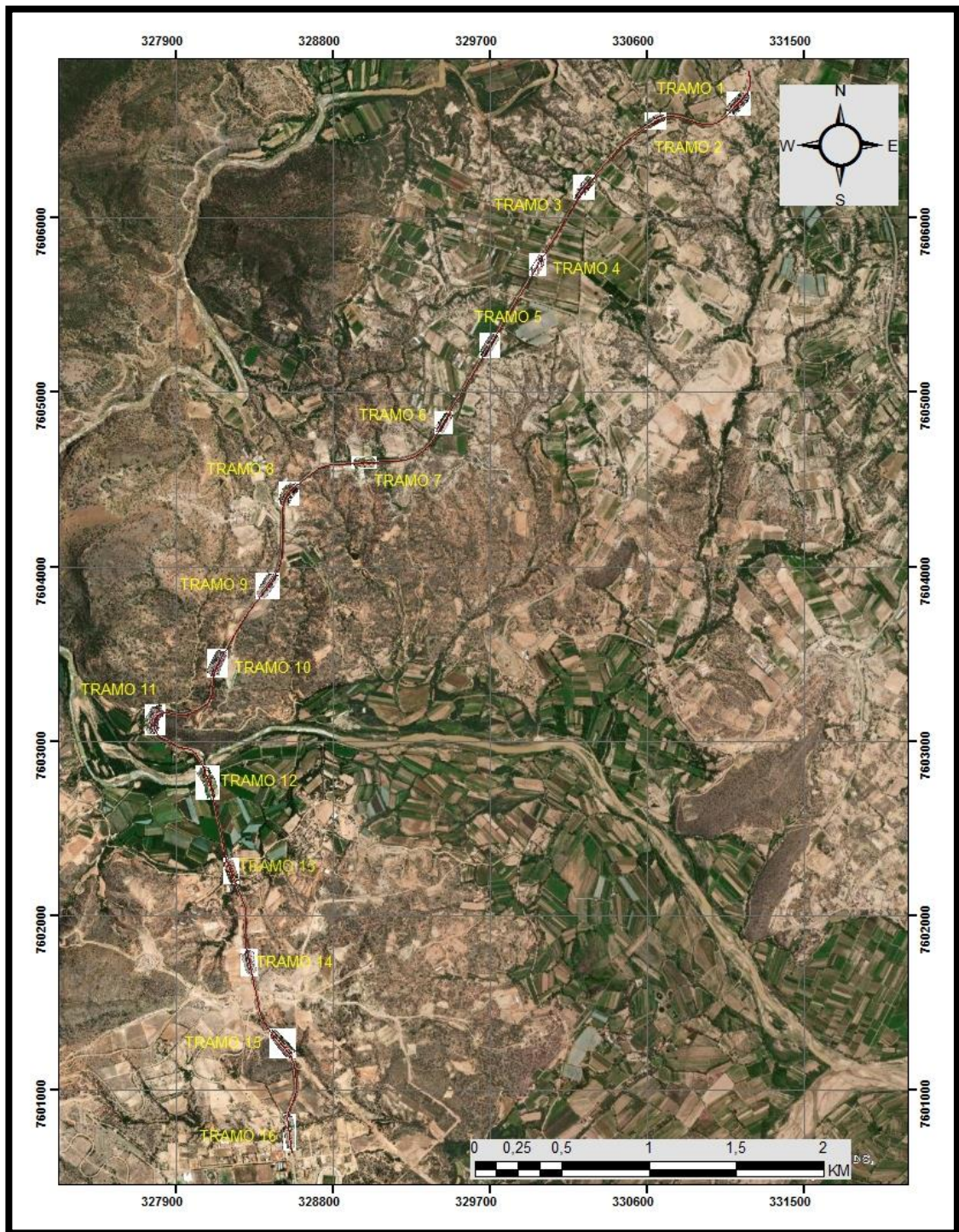
Se dividió la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones se establecieron de acuerdo a al tipo de pavimento a evaluar y su ancho menor de calzada o ancho típico, según Vásquez Varela el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango de $230 \pm 93.0 \text{ m}^2$. el siguiente cuadro presenta algunas relaciones de longitud y ancho de calzada pavimentada.

Tabla 10 Unidades de muestreo

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5	46
5,5	41,8
6	38,3
6,5	35,4
7,3 (máximo)	31,5

Fuente: Elaboración propia

Figura 120 Puntos de muestreo



Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

Procedimiento de cálculo para la determinación de unidades de muestreo

Ancho de calzada típico $a = 7.3 \text{ m}$

Longitud de tramo $L = 8.340 \text{ Km}$

Área de muestra

Para establecer el área a ser utilizada para establecer las unidades de muestreo, nos basaremos en las recomendaciones tanto de la ASTM D 6433 con $225 \pm 90 \text{ m}^2$ y las del Ing. Vásquez Valera en su Guía INGEPAV para la evaluación de pavimentos en la Universidad Nacional de Colombia, con $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$.

Ambos rangos de valores para las áreas recomendadas tienen similitud y solo varían en los valores límites y extremos, es en ese sentido que al hacer nuestro análisis entraremos dentro de los límites y recomendaciones propuestas.

Cálculo de N según ASTM D 6433 con $225 \pm 90 \text{ m}^2$

$$N = \frac{a * L}{A} = \frac{7.3 * 8.340}{225} = 264,704$$

Cálculo de N según guía INGEPAV con $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$

$$N = \frac{a * L}{A} = \frac{7.3 * 8.340}{225} = 270,587$$

Optamos por usar 265 unidades de muestreo para el tramo estudiado

$N = 265$

Nuevo cálculo del área estudiada

$$N = \frac{a * L}{A} = \frac{7.3 * 8.340}{265} = 229,743$$

Para mayor practicidad en campo y al no recurrir a la necesidad de una precisión milimétrica utilizamos el inmediato superior y número entero más próximo para el análisis

$A = 230 \text{ m}^2$

Longitud de unidad de muestreo

Considerando el ancho de calzada tipo $a = 7.3$ m, y el área de estudio, se determinó la longitud para cada muestra a ser evaluada.

$$l = \frac{A}{a} = \frac{230}{7,3} = 31,507 \text{ m}$$

La longitud para sección de muestreo es de 31. 5 m

3.3.2.Cálculo de unidades a ser evaluadas

Procedimiento de cálculo

Total, de unidades de muestreo $N = 265$

Desviación estantalar asumida $\sigma = 10$

Error admisible en el estimativo del PCI de la sección $e = 5\%$

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2} = \frac{265 * 10^2}{\frac{0.05^2}{4} * (265 - 1) + 10^2} = 15,143$$

Siendo n las unidades mínimas a ser evaluadas y al no poder utilizar un número fraccionado, definimos un $n = 16$, no obstante, al tratarse de un proyecto de estudio y con el fin de ampliar la cobertura de la investigación para que esté acorde a las exigencias académicas de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, se incrementaron 16 unidades de muestreo extras, sumando un total del 32.

3.3.3.Selección de las unidades de muestreo para la inspección

Se recomienda que las unidades de muestreo estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que se elija la primera de ellas al azar.

3.3.3.1.Determinación del intervalo de muestreo

Total, de unidades de muestreo $N = 265$

Número de unidades a ser evaluadas $n = 16$

Intervalo de muestreo

$$i = \frac{N}{n} = \frac{265}{16} = 16,563$$

Se definió un intervalo de 17 unidades, a las cuales aplicaremos la evaluación PCI

Se comenzó por la unidad 7.

Teniendo como resultado el siguiente cuadro resumen de los tramos a ser estudiados

Tabla 11 Subdivisión de tramos de estudio

Tramo 01 - M 07		Tramo 02 - M 24		Tramo 03 - M 41	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Km 0+188.83	Km 0+220.30	Km 0+723.85	Km 0+755.32	Km 1+258.87	Km 1+290.34
Tramo 04 - M 58		Tramo 05 - M 75		Tramo 06 - M 92	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Km 1+793.89	Km 1+825.36	Km 2+328.91	Km 2+360.38	Km 2+863.92	Km 2+895.40
Tramo 07 - M 109		Tramo 08 - M 126		Tramo 09 - M 143	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Km 3+398.94	Km 3+430.42	Km 3+933.96	Km 3+965.43	Km 4+468.98	Km 4+500.45
Tramo 10 - M 160		Tramo 11 - M 177		Tramo 12 - M 194	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Km 5+004.00	Km 5+035.47	Km 5+539.02	Km 5+570.49	Km 6+074.04	Km 6+105.51
Tramo 13 - M 211		Tramo 14 - M 228		Tramo 15 - M 245	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Km 6+609.06	Km 6+640.53	Km 7+144.08	Km 7+175.55	Km 7+679.09	Km 7+710.57
Tramo 16 - M 262					
Inicio	Fin				
Km 8+214.11	Km 8+245.59				

Fuente: Elaboración propia

Como se mencioné en el punto anterior, se incrementaron 16 unidades de muestreo extras, que se encuentran ubicadas inmediatamente posterior a las seleccionadas al inicio, teniendo así el cuadro resumen de las unidades de muestreo añadidas o incrementadas.

Tabla 12 Subdivisión de tramos de estudio añadidos (extra)

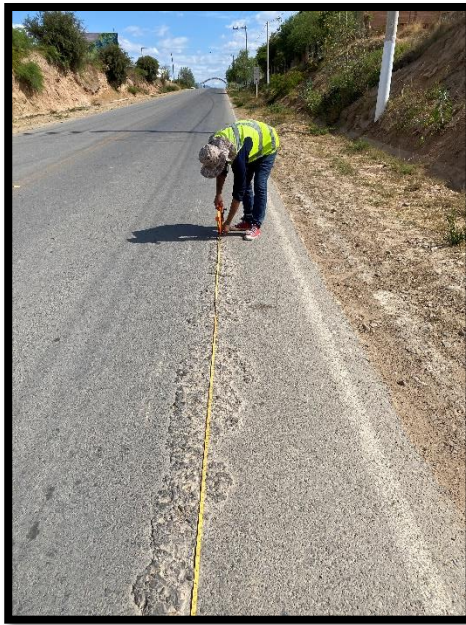
Tramo 01 A - M 08		Tramo 02 A - M 25		Tramo 03 A - M 42	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Km 0+220,30	Km 0+251,77	Km 0+755,32	Km 0+786,79	Km 1+290,34	Km 1+321,81
Tramo 04 A - M 59		Tramo 05 A - M 76		Tramo 06 A - M 93	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Km 1+825,36	Km 1+856,83	Km 2+360,38	Km 2+391,85	Km 2+895,40	Km 2+926,87
Tramo 07 A - M 110		Tramo 08 A - M 127		Tramo 09 A - M 144	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Km 3+430,42	Km 3+461,89	Km 3+965,43	Km 3+996,91	Km 4+500,45	Km 4+531,92
Tramo 10 A - M 161		Tramo 11 A - M 178		Tramo 12 A - M 195	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Km 5+035,47	Km 5+066,94	Km 5+570,49	Km 5+601,96	Km 6+105,51	Km 6+136,98
Tramo 13 A - M 212		Tramo 14 A - M 229		Tramo 15 A - M 246	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Km 6+640,53	Km 6+672,00	Km 7+175,55	Km 7+207,02	Km 7+710,57	Km 7+742,04
Tramo 16 A - M 263					
Inicio	Fin				
Km 8+245,59	Km 8+277,06				

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Evaluación de la condición (medición de la magnitud de las fallas)

El relevamiento de las fallas se realizó empleando hojas de inspección y catálogo de fallas de referencia. Debido al alto flujo vehicular sobre todo los fines de semana, fue necesario realizar las tareas en días hábiles (de martes a jueves) en horarios comprendidos entre las 9:30 a las 11:00 y por las tardes de 15:30 a 17:00. Adicionalmente se usó indumentaria reflectiva y de colores vivos con fines de seguridad.

Figura 121 Auscultación de manera directa



Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Rendimiento de inspección y personal de campo

El rendimiento de inspección promedio fue de 40 minutos por cada unidad de muestra de 31.5m cada una, pues si bien se encontraron poca cantidad de fallas, el tránsito de vehículos afectó notablemente los trabajos de inspección in situ.

El personal requerido para la evaluación estuvo compuesto por 3 personas, siendo dos, las evaluadoras y otra para anotaciones y/o toma de fotografías.

3.4. Obtención de información de manera indirecta por dron

3.4.1. Misión de vuelo

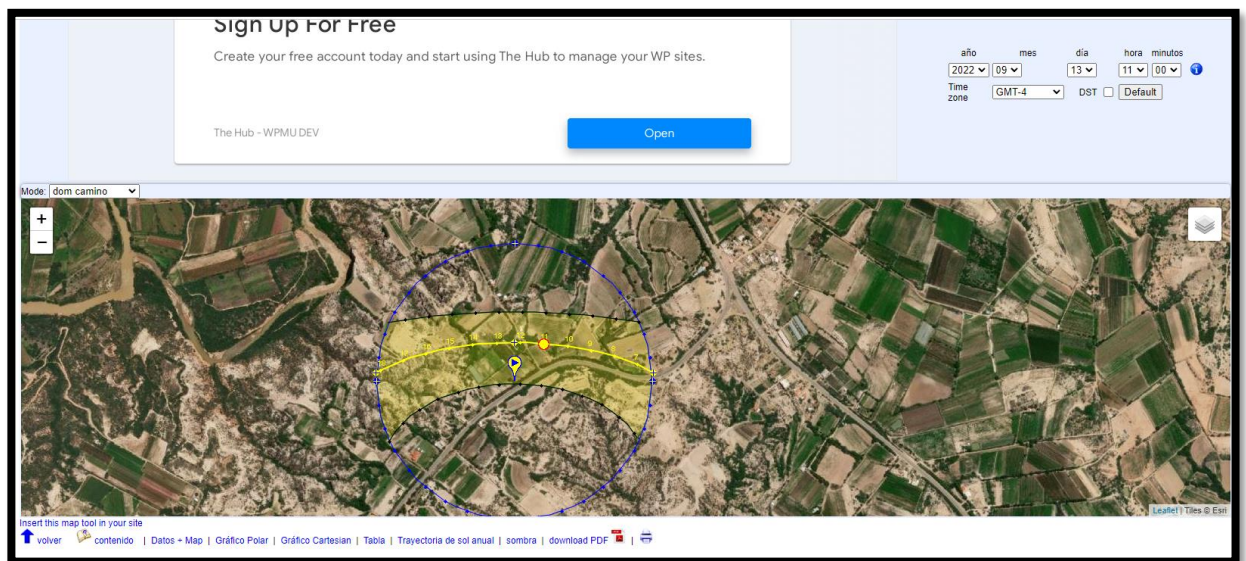
La etapa de campo ha consistido en relevar la información mediante un vuelo programado a una altura promedio de 20 metros, mismo que ha capturado imágenes a una velocidad media constante de manera de obtener imágenes del estado de la vía en estudio

El plan de vuelo, consiste en hacer un vuelo a una altura de 20 metros y tres pasadas de recubrimiento al 75% transversal y 80% longitudinal, para lograr una escala fotográfica que permita restituir una escala cartográfica 1/250

La campaña de vuelos se ha realizado los días 13, 14 y 15 de septiembre del año 2022, aproximadamente a las 11 de la mañana. Usando la herramienta online <http://www.sunearthtools.com/> se ha podido averiguar la elevación del sol para esa fecha y hora. Tenemos que tener en cuenta que, para tener una buena imagen, el sol tiene que tener una altura mínima de 35°.

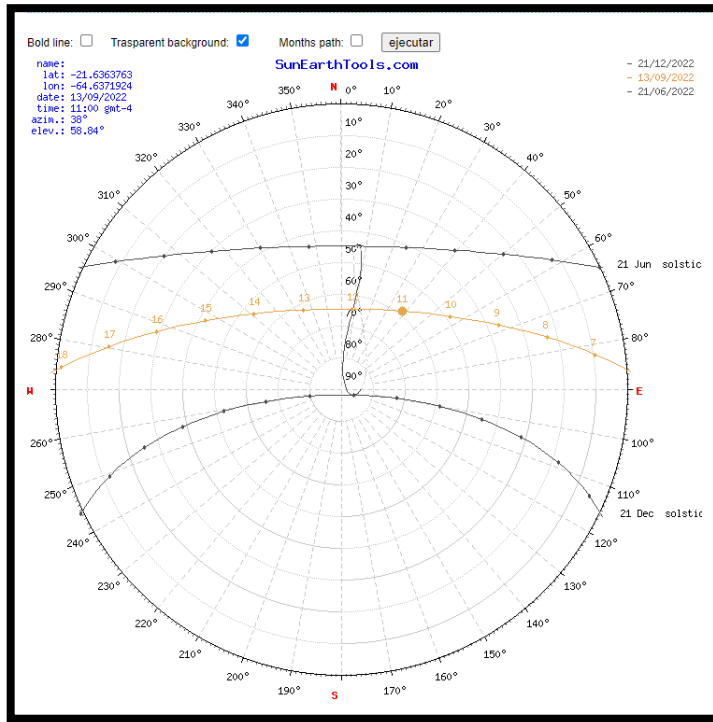
Siendo esta una consideración para trabajar en condiciones de luminosidad óptimas, y que generen la menor cantidad de sombra, la cual obstruye o genera distorsión en las imágenes capturadas.

Figura 122 Trayectoria del sol



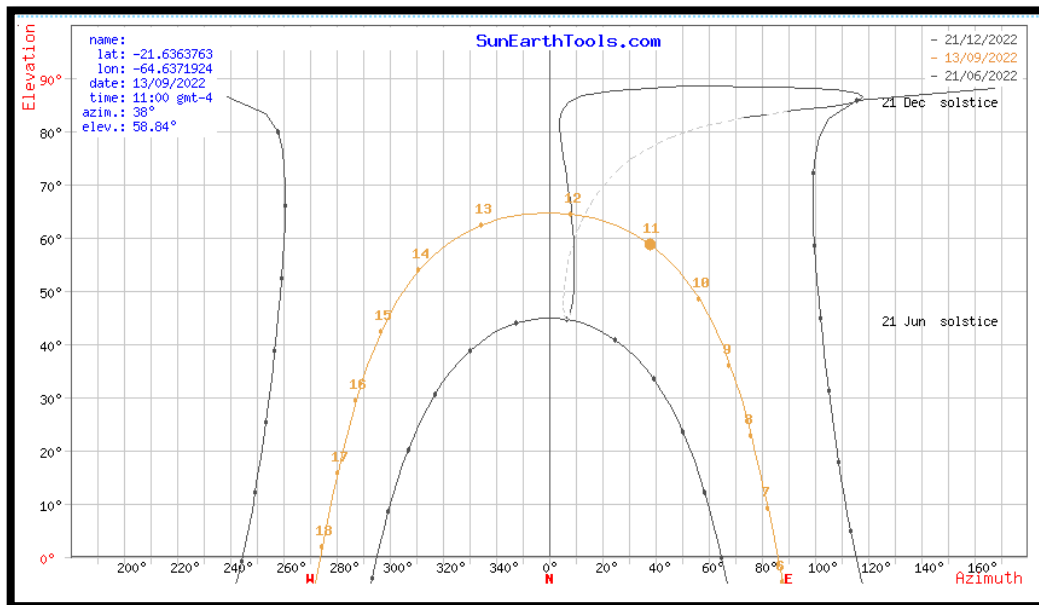
Fuente: sunearthtools.com

Figura 123 Grafico Polar






Fuente: sunearthtools.com

Figura 124 Gráfico Cartesiano



Fuente: sunearthtools.com

Figura 125 Tabla de trayectoria del sol

sol" posición 	Elevación	Azimut	latitudes	longitudes
13/09/2022 11:00 GMT-4	58.84°	38°	21.6363763° S	64.6371924° W
crepúsculo 	Sunrise	Puesta de sol	Azimut Sunrise	Azimut Puesta de sol
crepúsculo -0.833°	06:16:49	18:12:20	86.34°	273.46°
crepúsculo civil -6°	05:54:34	18:34:34	88.37°	271.42°
Náutica" crepúsculo -12°	05:28:45	19:00:24	90.74°	269.03°
El crepúsculo astronómico -18°	05:02:56	19:26:14	93.17°	266.58°
la luz del día 	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	Mediodía
13/09/2022	11:55:31	00:01:13	-00:01:13	12:14:34

Fuente: sunearthtools.com

3.4.2.Determinación de la altura de vuelo por medio del análisis y precisión del instrumento comparando diferentes alturas de vuelo

3.4.2.1.Altura de vuelo a 60 metros

La altura de vuelo fue motivo de estudio para comenzar con las misiones de vuelo, en donde se tuvo un primer vuelo de prueba sobre la unidad de muestreo N.º 16, a una altura de 60 metros.

Se calculó el GSD para una altura de 60 metros, estimando así un tamaño de resolución de píxel de 15 mm.

Tabla 13 Cálculo del GSD para una altura de vuelo de 60 m

Parámetro	Cantidad	Unidad
Altura de vuelo	60000	mm
Altura de sensor	8,1	mm
Distancia Focal	8,8	mm
Altura de imagen	3648	pixel
$\frac{\text{Altura de vuelo} \times \text{Distancia de sensor}}{\text{Distancia focal} \times \text{Altura de imagen}}$		
GSD	15,139	mm

Fuente: Elaboración propia

Luego del post proceso y trabajo de gabinete, se pudo identificar deficiencias al momento de identificar y localizar las fallas sobre el pavimento, sobre todo aquellas de severidad baja y de cantidades reducidas, dado que se contaba con una resolución final del píxel de en promedio 15 mm.

Esto dificultó el trabajo de localización e identificación de las fallas, quedando incluso fuera de apreciación gritas de severidad leve con dimensiones menores a 2 metro. En el punto 3.4.2.3 se abordará a fondo la comparación con un vuelo a una altura de 20 m, en el que se detallará mucho mejor el criterio técnico al momento de elegir la altura de vuelo adecuada.

3.4.2.2. Altura de vuelo a 20 metros

Teniendo como antecedente el primer vuelo de prueba a 60 metros, se optó por determinar una altura lo más bajo posible para tener un tamaño de píxel mucho más pequeño, considerando factores como la seguridad del equipo, la precisión requerida y las recomendaciones en aplicaciones de esta metodología realizadas con anterioridad, y principalmente el criterio técnico fruto del análisis comparativo de dichas alturas de vuelo.

Respecto a la seguridad del equipo se tomaron en cuenta los factores topográficos del terreno, encontrándonos con zonas accidentadas y taludes a lo largo de algunos tramos, además de tener vegetación en los bordes de la carretera con alturas considerables que podrían ocasionar colisiones y afectar a la integridad y seguridad del equipo.

Figura 126 Dron sobre volando vegetación



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en las imágenes la altura definida de 20 metros resulta conveniente siendo baja y generando ortofotos de mejor calidad, sin comprender la seguridad del equipo.

Por medio del cálculo del GSD se determinó que, a una altura de 20 metros, se tiene un tamaño de píxel de 5 mm, esto según las recomendaciones del Ingeniero Jorge Cruz Toribio en su artículo científico para la revista de Métodos y materiales de la Universidad de Costa Rica.

Tabla 14 Cálculo del GSD para una altura de vuelo de 20 m

Parámetro	Cantidad	Unidad
Altura de vuelo	20000	mm
Altura de sensor	8,1	mm
Distancia Focal	8,8	mm
Altura de imagen	3648	pixel
$\frac{\text{Altura de vuelo} \times \text{Distancia de sensor}}{\text{Distancia focal} \times \text{Altura de imagen}}$		
GSD	5,046	mm

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.3.Comparación y análisis con alturas de vuelo a 60 y 20 metro

3.4.2.3.1.Comparación visual de Ortofotos

Como se mencionó anteriormente se tienen ortofotos capturadas a alturas de 60 y 20 metros con resoluciones de 15 mm y 5 mm respectivamente, a continuación se presenta gráficamente las diferencias al momento de querer identificar y medir las fallas.

Figura 127 Comparación de fallas detectadas

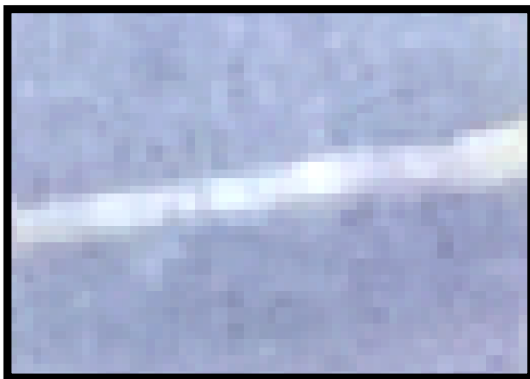


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 128 Comparación de fallas detectadas



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 129 Comparación de fallas detectadas

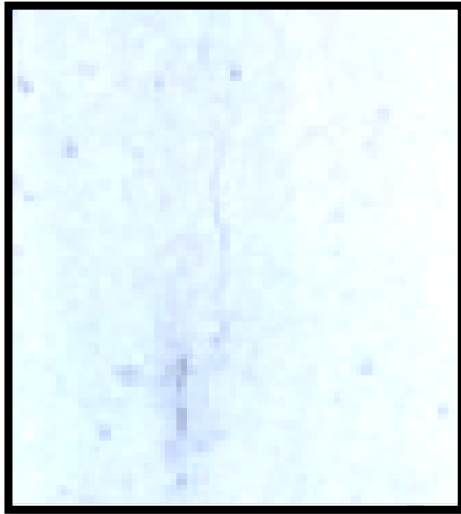


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 130 Comparación de fallas detectadas



Fuente: Elaboración propia



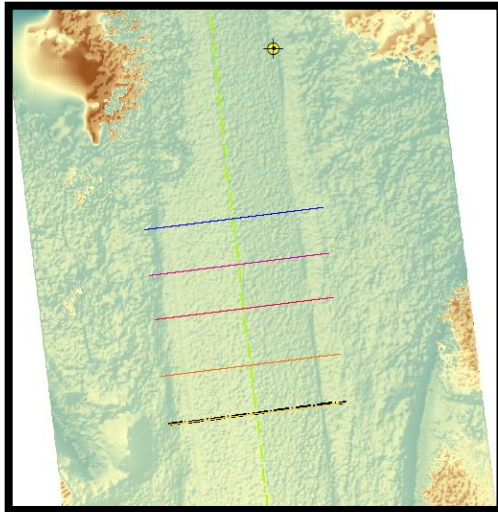
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en las imágenes, es evidente la diferencia en cuando a las calidades de la resolución de las imágenes, si bien se logran visualizar algunas fallas a una altura de vuelo de 60 metros, no se tiene una correcta certidumbre sobre su extensión o dimensión total, sin embargo, las fallas con severidades altas y de cantidades considerablemente altas, son más evidentes tanto en alturas de vuelos de 60 metros como de 20 metros.

3.4.2.3.2. Comparación de secciones transversales

Usando el modelo digital de elevación, se generaron secciones transversales para poder visualizar la variación en respecto a su forma entre los ráster provenientes de alturas de vuelo de 60 y 20 metros.

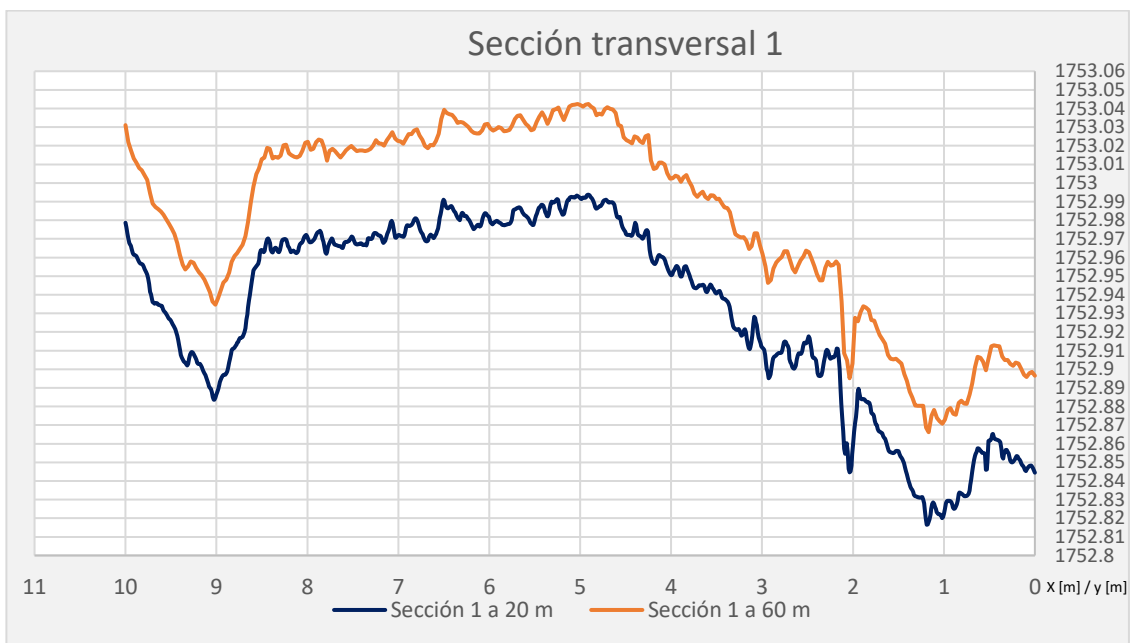
Figura 131 secciones transversales



Fuente: Elaboración propia

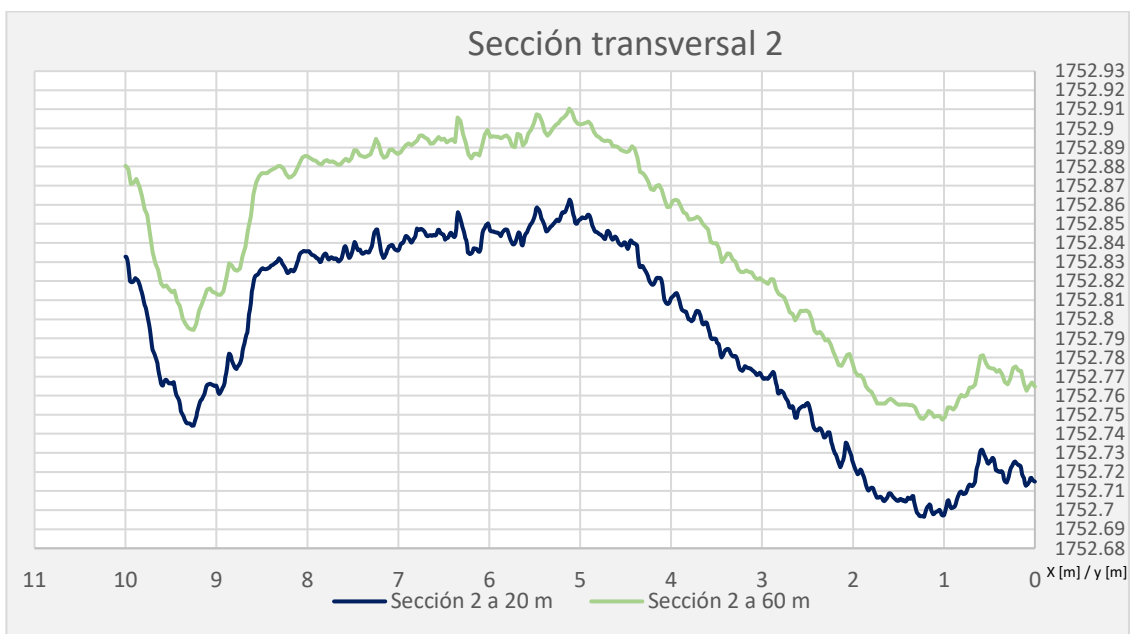
A continuación, se presentan gráficamente las secciones transversales de los modelos digitales de terreno; en donde se ajustaron las secciones correspondientes a los 60 m con un desfase de 5 cm por encima de la sección con una altura de vuelo de 20 metros, esto con el fin de poder apreciar con mayor claridad cuáles son las diferencias entre dichas secciones.

Figura 132 Sección transversal 1



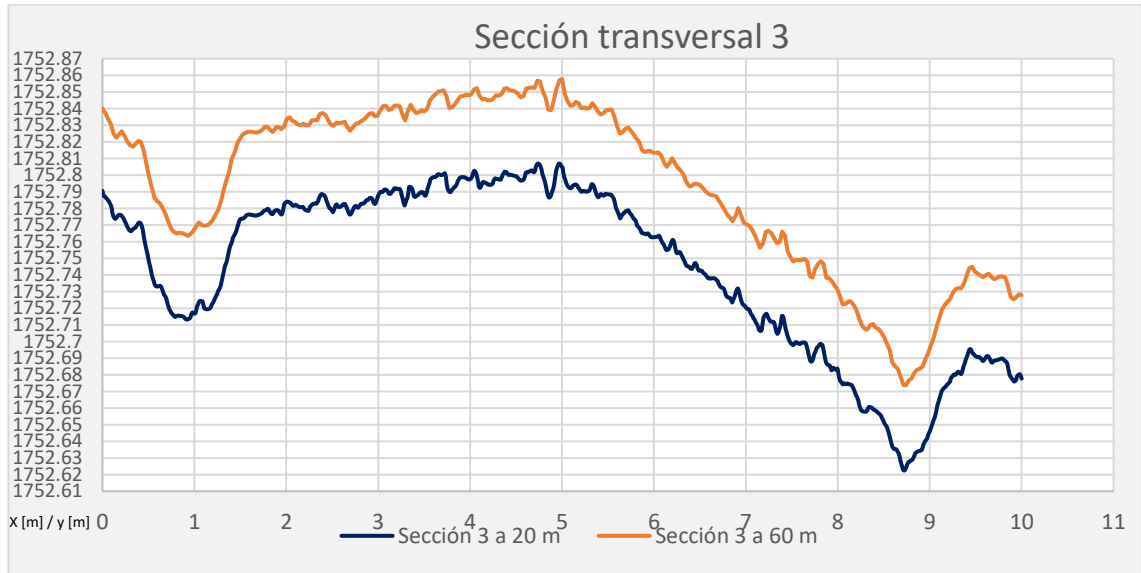
Fuente: Elaboración propia

Figura 133 sección transversal 2



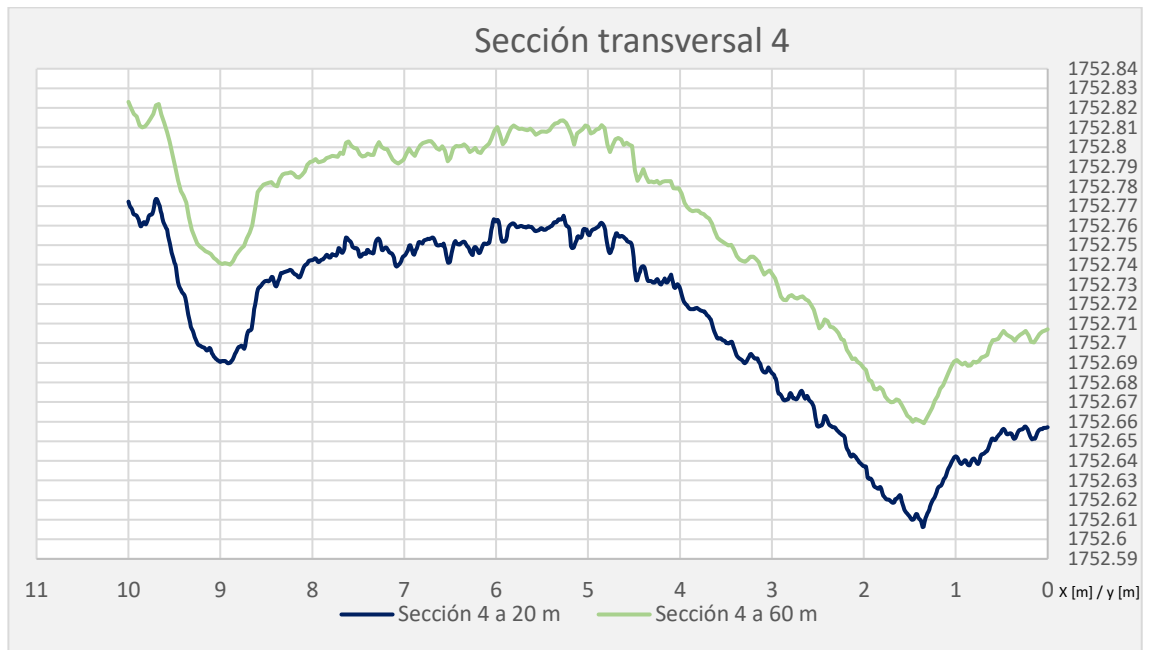
Fuente: Elaboración propia

Figura 134 sección transversal 3



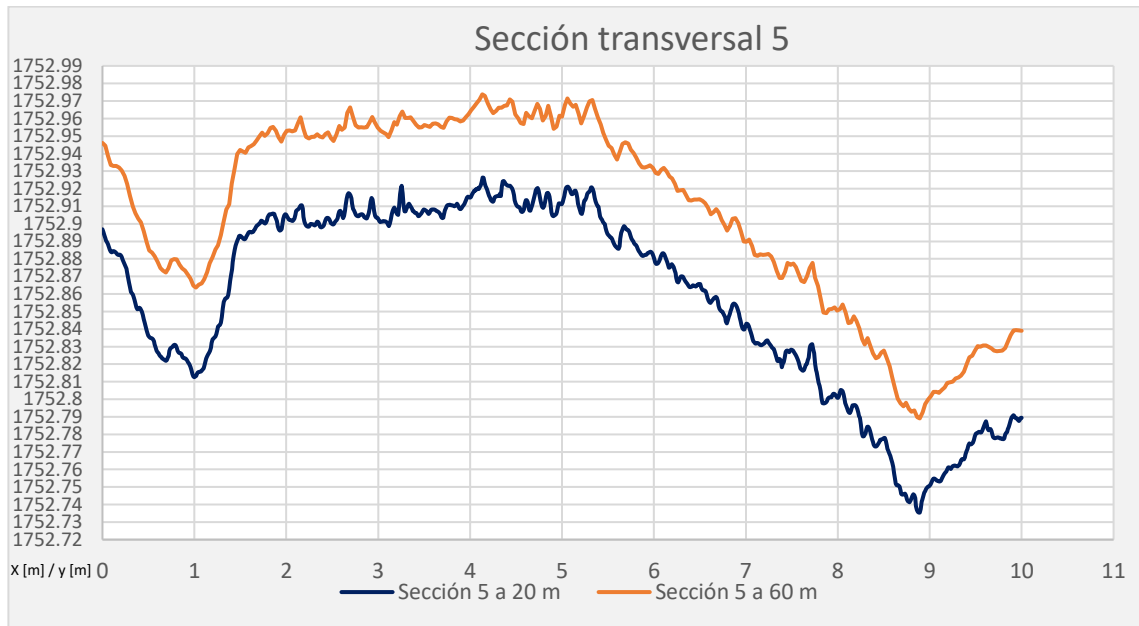
Fuente: Elaboración propia

Figura 135 sección transversal 4



Fuente: Elaboración propia

Figura 136 sección transversal 5



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la forma del terreno, se puede observar que la variación es mínima, casi imperceptible, resultando así en una variación que no se toma en cuenta al momento de realizar un análisis comparativo de las alturas de vuelo.

Es importante recalcar que el tamaño del píxel varió de 1 cm a 3 cm, para las alturas de 20 m y 60 m respectivamente.

3.4.2.3.3. Comparación de la identificación y dimensionamiento de las fallas presentes

Como se mencionó en los puntos anteriores, las diferencias más representativas son las visuales correspondientes a las ortofotos y no tanto así a la de la forma del terreno o desniveles presentes. Se realizó un cuadro resumen, de las fallas medidas tanto en las ortofotos a 20 y 60 metros con las mediciones directas, para conocer el grado de diferencia y certidumbre entre dichas alturas.

Tabla 15 Comparación de la variación en mediciones con ortofotos tomadas a 20 y 60 m

Falla	Severidad	Medición real	Cantidad a 20 m	Cantidad a 60 m	Unidad de muestreo	Carri l	variación entre altura de vuelo a 20 m y medición directa	variación entre altura de vuelo a 60 m y medición directa
10	L	0,310	0,310	Imperceptible	16	Der	0%	Total
10	L	0,400	0,359	Imperceptible	16	Der	10%	Total
10	L	0,360	0,409	Imperceptible	16	Der	14%	Total
10	L	0,300	0,302	Imperceptible	16	Der	1%	Total
11	H	1,610	1,440	1,390	16	Der	11%	14%
10	L	0,260	0,249	Imperceptible	16a	Der	4%	Total
10	L	0,360	0,340	Imperceptible	16a	Der	6%	Total
10	L	0,430	0,446	Imperceptible	16a	Izq.	4%	Total
19	H	0,210	0,262	0,300	16A	Der	25%	43%
19	L	0,060	0,020	Imperceptible	16a	Der	67%	Total

Fuente: Elaboración propia

Al contar dicho análisis se optó por determinar una altura de vuelo de 20 metros para todo el proyecto, porque refleja menor variación de las mediciones de las fallas, contrariamente al vuelo de 60 m en donde gran cantidad de las fallas no imperceptibles esto debido a la calidad de la resolución del píxel siendo esta de 5 mm, frente a los 15 mm que presentan las ortofotos tomadas a 60 m.

No se optó por una altura menor a los 20 metros, ya que esto comprendía a la seguridad e integridad del equipo al contar con vegetación alta en algunas zonas y tendido de cables que atraviesan la carretera.

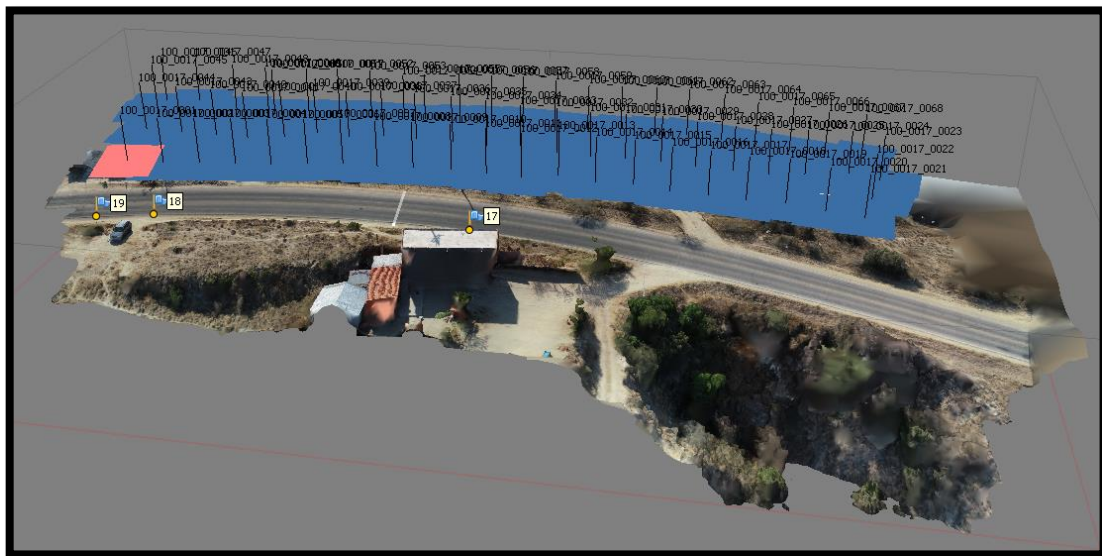
3.4.3. Ejecución y operación de vuelo

Para identificar las fallas del pavimento, se propone realizar vuelos a una altura de 20m para garantizar una resolución o GSD de aproximadamente 5mm por píxel, con traslapes longitudinales del 75% y transversales de 80%, con el objeto de obtener mayor número de puntos homólogos y una mejor correlación de los mismos.

Cada uno de los 16 vuelos realizados, se desarrolló a horas 11:30 con el tránsito vehicular usual, despegando desde un lado de la vía. El tiempo total promedio de vuelo fue de 4 minutos y 30 segundos desde el ascenso del dron hasta su mismo retorno al mismo punto.

Cada misión cuenta con un promedio de 85 imágenes georreferenciadas con una resolución de 5472x3648 pixeles, distancia focal de 8.8 y velocidad de obturación de 1/2000.

Figura 137 Restitución Fotogramétrica Agisoft Metashape



Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Georreferenciación

Para realizar el proyecto es necesario el uso de puntos geodésicos. La respectiva georreferenciación se realizará con equipos GNSS en moto RTK utilizando el sistema NTRIP

La transmisión vía Internet ofrece más estabilidad en la transmisión de correcciones y una mayor velocidad en la transferencia de datos. Todo ello beneficia que, al momento de encender el rover, sea mucho más rápido conseguir solución fija y, además, sea más probable que esta se mantenga incluso en terrenos con obstrucciones naturales o artificiales y se podrán cubrir mayor cantidad de información

Las radios de los receptores GNSS tienen un buen desempeño en lugares con pocas obstrucciones, como sectores rurales o zonas de escasa población. Pero encuentran

problemas para funcionar correctamente en entornos urbanos, debido a la gran cantidad de obstáculos, como edificios, líneas eléctricas, entre otros.

Por lo tanto, para levantamientos en ciudades se recomienda utilizar siempre NTRIP, ya que dichas interferencias no afectarán el posicionamiento y podrás trabajar a kilómetros de distancia de la base sin mayor inconveniente.

3.4.4.1. Rectificación de las imágenes

Una vez cargadas las imágenes en el Software de procesamiento de imágenes, se identificaron los puntos de foto control pintados en campo que constan de una marca circular con un patrón variable de colores entre rojo y blanco con un diámetro exterior de 20 cm y un centro de color rojo de 1 cm, se optó por pintar esta marca para que sea de fácil reconocimiento y que dure para las próximas visitas a campo, en cada una de las fotografías, y se les asignó el atributo de punto de georreferenciación, a razón de dicho proceso, las ortofotos y modelo digital del terreno, se generaron de manera acorde y con una corrección con respecto a la georreferenciación.

Figura 138 Tramo 5. Ubicación de puntos de foto control



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 139 Fotografía de punto de foto control en campo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Errores en la georreferenciación de las ortofotos

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
1	-0,000434073	0,0162289	0,0102615	0,0192059	0,134 (15)
2	0,00413026	-0,00780626	0,0180912	0,0201318	0,135 (10)
Total	0,00293662	0,0127341	0,014707	0,0196743	0,134

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
3	-0,00529641	0,0139376	0,0205825	0,0254155	1,368 (16)
4	0,00656097	-0,00591851	0,00656762	0,0110095	0,500 (16)
Total	0,00596231	0,0107072	0,015277	0,0195851	1,030

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
5	-0,0024736	-0,0164507	-0,0167502	0,0236075	1,568 (20)
6	-0,00538897	0,0201216	-0,0188474	0,0280917	0,481 (15)
Total	0,00419283	0,018378	0,0178297	0,0259466	1,226

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
7	0,0033642	0,000841913	-0,00751806	0,00823688	0,128 (17)
8	0,00529411	0,00230508	0,0114627	0,0128349	0,131 (17)
Total	0,00443539	0,00163102	0,00969316	0,0107838	0,129

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
9	-0,00114905	0,0116367	0,0108046	0,0159208	0,362 (15)
10	0,00491081	-0,0137306	0,0226299	0,0269213	0,493 (17)
Total	0,00356625	0,0127268	0,017732	0,0221159	0,436

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
11	0,00907435	0,0170097	-0,0080378	0,0208873	0,288 (14)
12	0,014913	-0,0011297	0,0339087	0,0370604	0,302 (17)
Total	0,0123438	0,0120542	0,0246415	0,0300812	0,296

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
13	0,0895039	0,109885	-0,108077	0,178231	0,380 (19)
14	-0,00513183	-0,0193317	-0,0254661	0,0323816	0,277 (17)
Total	0,0633928	0,0788934	0,0785152	0,128092	0,335

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
15	0,00842404	0,0123328	0,018154	0,0235081	0,170 (15)
16	-0,00409714	-0,00722276	0,0110045	0,013786	0,127 (15)
Total	0,00662386	0,0101061	0,0150111	0,0192703	0,150

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
17	0,200196	0,0223855	-0,0135352	0,201898	0,298 (15)
18	-130,324	-0,301781	0,127771	134,381	0,519 (9)
19	110,766	0,284842	-0,0989532	114,797	0,622 (3)
Total	0,994218	0,239936	0,093631	102,704	0,427

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
20	0,000905493	0,00230458	0,00417878	0,00485728	0,086 (18)
21	0,00319951	0,00189459	0,0431156	0,0432756	0,171 (8)
Total	0,00235125	0,00210957	0,0306302	0,0307926	0,119

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
22	0,00488269	0,0130411	0,00993735	0,0171074	0,384 (14)
23	-0,000304602	-0,00139653	0,00512927	0,00532471	0,446 (15)
Total	0,00345929	0,00927418	0,0079076	0,0126691	0,417

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
24	0,00392077	0,00592276	-0,000135845	0,00710422	1,230 (14)
25	0,00348656	0,00730051	0,0285335	0,0296582	0,367 (13)
Total	0,00371002	0,00664743	0,0201764	0,0215648	0,922

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
26	0,00010709	0,000241963	0,00064704	0,00699053	0,353 (15)
27	0,000122185	0,000240944	0,000126964	0,00298502	0,348 (19)
TOTAL	0,000114886	0,000241454	0,000466251	0,00537484	0,350

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
28	0,00161071	0,000607619	-0,00401452	0,00436806	0,265 (15)
29	0,00647415	0,00753457	0,00940965	0,013683	0,370 (14)
Total	0,00471747	0,00534505	0,00723387	0,0101564	0,320

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
30	-0,00460814	0,00405457	0,0104409	0,0121115	0,120 (13)
31	0,00613143	0,00194049	-0,00996657	0,0118614	0,090 (13)
Total	0,00542353	0,00317845	0,0102065	0,0119871	0,106

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
32	-0,019499	-0,00788359	0,00891612	0,0228442	0,202 (14)
33	0,00131632	0,00549467	0,0177164	0,0185956	0,239 (14)
Total	0,0138193	0,00679494	0,0140244	0,0208285	0,221

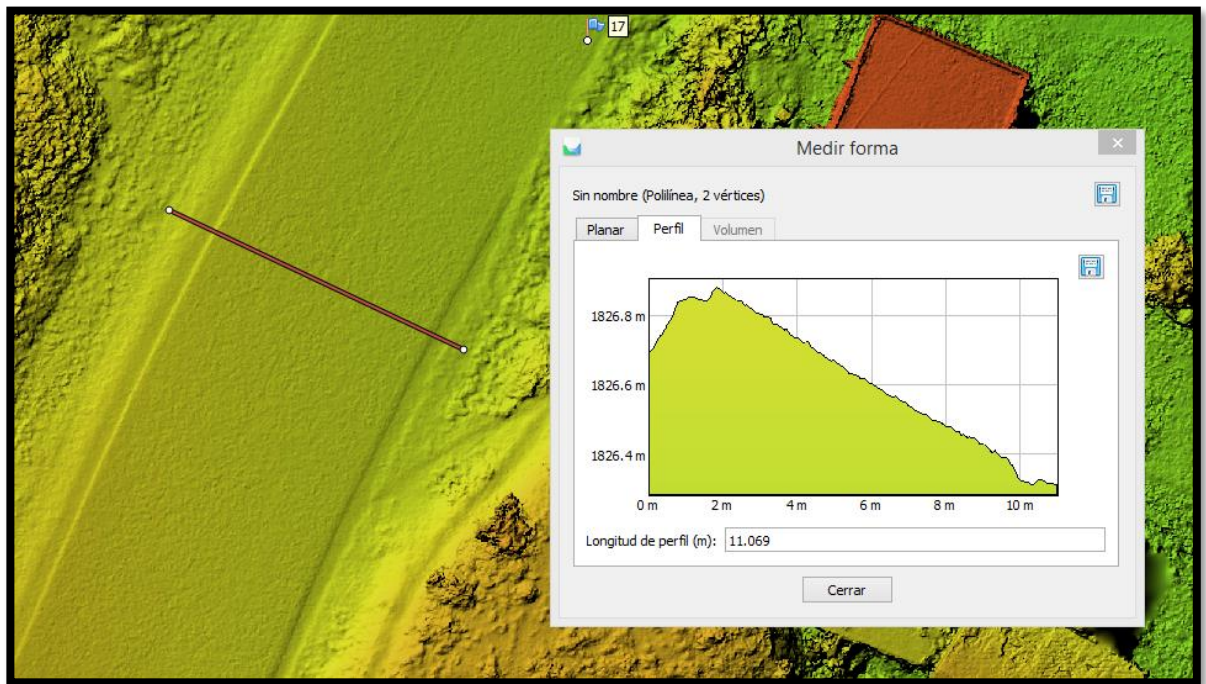
Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Procesamiento de la información

Con las imágenes obtenidas y los puntos de foto control, se realiza la orientación de las imágenes. Obteniendo un modelo 3D del campo de vuelo a radio control y una ortofoto

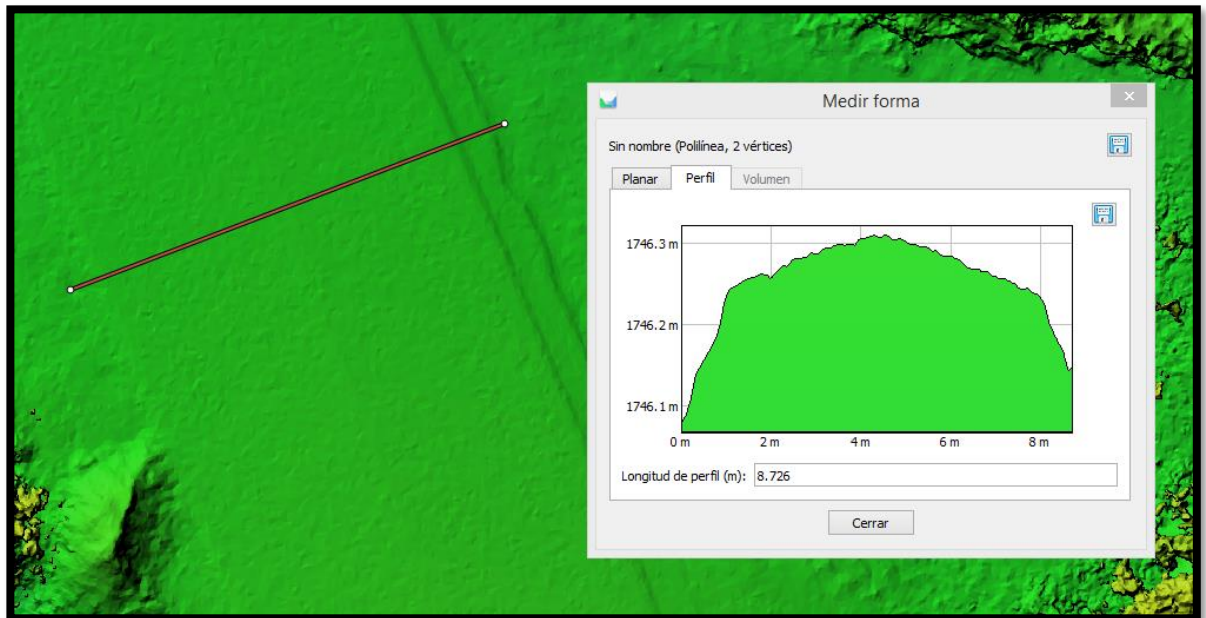
Se ha utilizado el software Agisoft PhotoScan, muy similar a Pix4D y Drone2Map, el cual permitió incorporar imágenes aéreas capturadas por el dron y comenzar un proceso de restitución de imágenes por coincidencia espacial entre los elementos representados en cada imagen. De esta forma se ha podido visualizar las fotografías realizadas en altura y la composición de la representación espacial de los objetos proyectados en superficie generando volúmenes.

Figura 140 Tramo 8 Sección transversal obtenida con resolución sub centimétrica



Fuente: Elaboración propia

Figura 141 Tramo 13. Sección transversal obtenida con resolución sub centimétrica



Fuente: Elaboración propia

3.4.6. Edición de la ortofoto

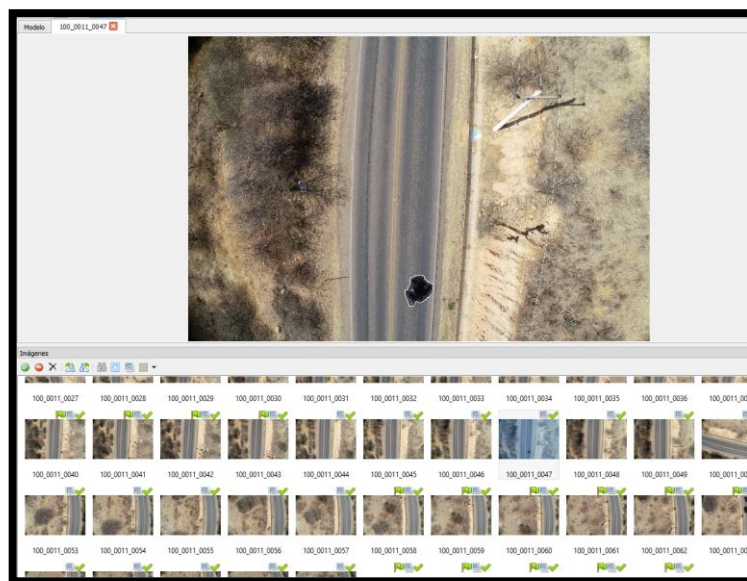
Al contar con las misiones mencionadas y con el postproceso concluido, se hizo uso del software ARCGIS V. 10.5, el cual permitió poder unir los modelos digitales de elevación corregidos y ajustados según las alturas medidas en cada estación base.

Se obtuvo como producto la ortofoto de toda la vía, con una resolución entre 5 mm a 7mm por pixel. En algunos casos se encontraron varios vehículos que impedían ver el estado del pavimento, por la imposibilidad de cerrar la vía para ejecutar el vuelo, pese a que en muchos casos se realizó la paralización del vuelo, dado que se contaba con personal a ambos lados que comunicaba el ingreso de vehículos en la zona de estudio.

Se procedió a editar la ortofoto reemplazando las zonas con obstáculos o interferencias, utilizando la herramienta de Agisoft denominada “Tijeras Inteligentes”.

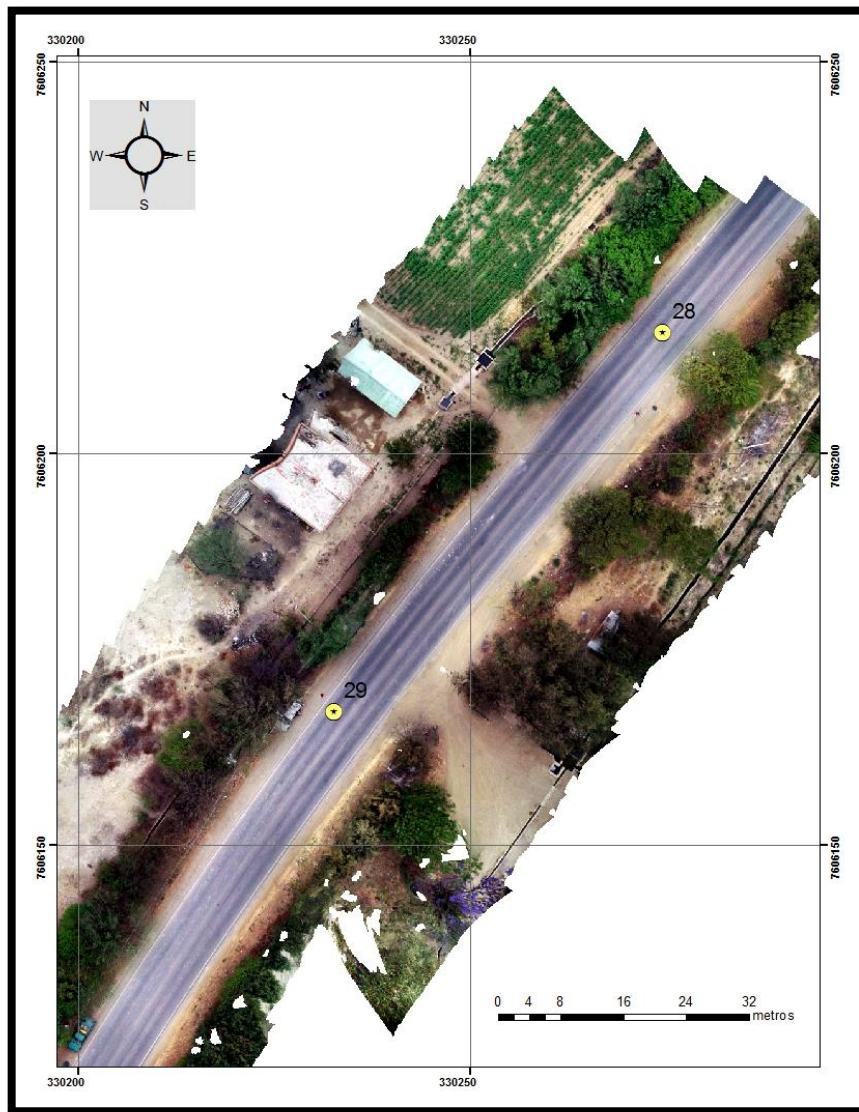
Proceso con el cual eliminamos todos los objetos, vegetación, y vehículos que representan un obstáculo en la visualización del pavimento en las áreas de estudio, es importante tomar en cuenta cuales fueron las regiones que sufrieron dicha edición ya que el programa al indicarle que suprima esa información, interpola la información del borde de dicha selección para rellenar el espacio vacío, es por eso que se añadieron las regiones en donde se realizaron dichos cortes en los mapas encontrados en los anexos del proyecto.

Figura 142 Uso de herramientas de limpieza para elementos móviles



Fuente: Elaboración propia

Figura 143 Ortofoto. Tramo 3



Fuente: Elaboración propia

3.4.7. Cruce de información para la identificación y medición de fallas

Con los productos generados, se procedió a cruzar información para la inspección de la vía en cada unidad de muestra, identificando el tipo y grado de severidad de los deterioros establecidos mediante inspección visual con los obtenidos en la ortofoto, así como en el modelo digital de terreno.

3.4.7.1. Ubicación y detección de las fallas en las ortofotos tomadas por dron

se comenzó por ubicar e identificar todas las fallas visibles en las ortofotos tomadas por el dron, este trabajo requirió una exhaustiva búsqueda detallada en los tramos de interés,

con el apoyo de software SIG como el ArcMap, con el que se pudo gestionar la información, haciendo zoom e identificando las variaciones de colores y textura visualmente en cada ortofoto para así identificar cada falla presente. No obstante, al contar un croquis de la ubicación de las fallas que se obtuvo de las visitas a campo para las mediciones directas; facilitó el trabajo y agilizó dicha identificación.

3.4.7.2.Determinación de parámetros del PCI en las ortofotos

Con el apoyo del Software SIG Arc Map, se crearon archivos vectoriales, como líneas y polígonos, con atributos como tipo de falla, cantidad, severidad, unidad de muestreo a la que pertenece, etc. Siendo estos los que representarían las fallas en dimensiones lineales (m) y en superficie (m²).

Una buena práctica fue realizar previamente una inspección visual de los tramos de estudio, en los que se procedió con el trazado de un croquis en el que se tomaba nota de ubicaciones y fallas que se encontraron con una simple inspección visual, ya que, con dicho croquis, el trabajo de identificación de las fallas en gabinete resulta mucho más eficiente y correcto.

Figura 144 Identificación de fallas. Tramo 1 (prog. 0+188 – prog. 0+220)



Fuente: Elaboración propia

Figura 145 Identificación de fallas. Tramo 12 (prog. 6+074 - prog. 6+105)



Fuente: Elaboración propia

Figura 146 Identificación de fallas. Tramo 12 (prog. 6+074 - prog. 6+105)



Fuente: Elaboración propia

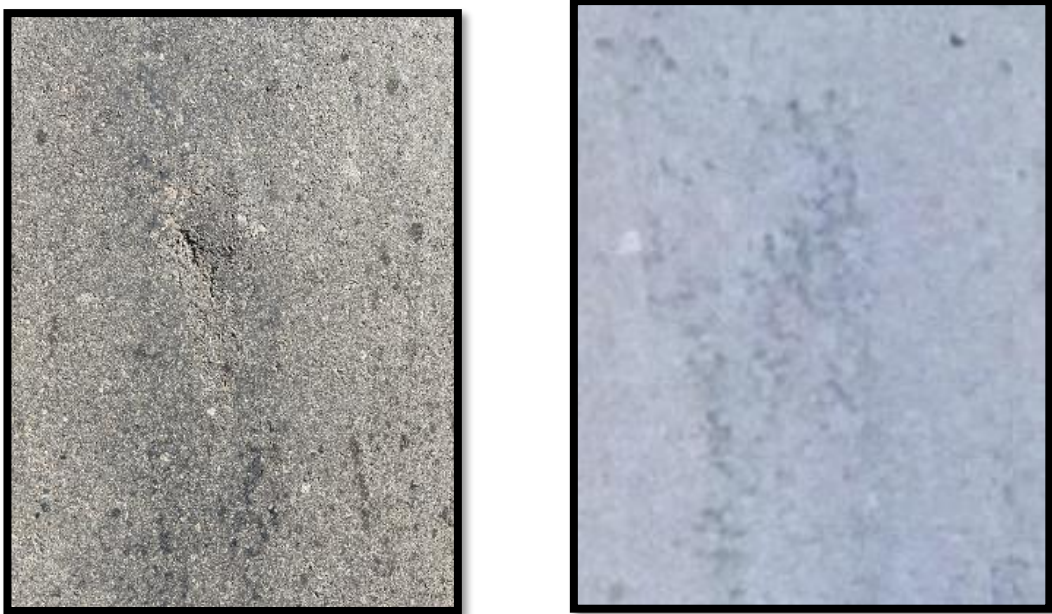
3.4.7.3. Comparación de las fallas

Al contar con las fallas medidas en las ortofotos y sus dimensiones en campo, se realizó la comparación de dichas dimensiones para cada falla encontrada, y así contemplar su variación.

Del mismo modo se realizó una memoria fotográfica con capturas de las fallas en las ortofotos y fotografías que se tomaron en campo al momento de realizar las mediciones

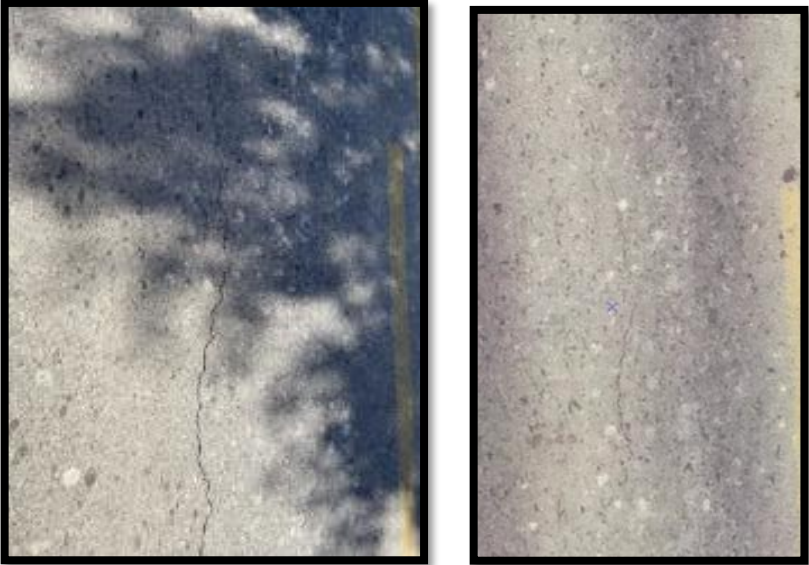
en campo. Dicha memoria fotográfica se encuentra en el anexo “D.3 COMPARACIÓN DE FALLAS”; a continuación, se adjuntan algunas de las fotografías más representativas.

Figura 147 Comparación visual de fallas



Fuente: Elaboración propia

Figura 148 Comparación visual de fallas



Fuente: Elaboración propia

Figura 149 Comparación visual de fallas



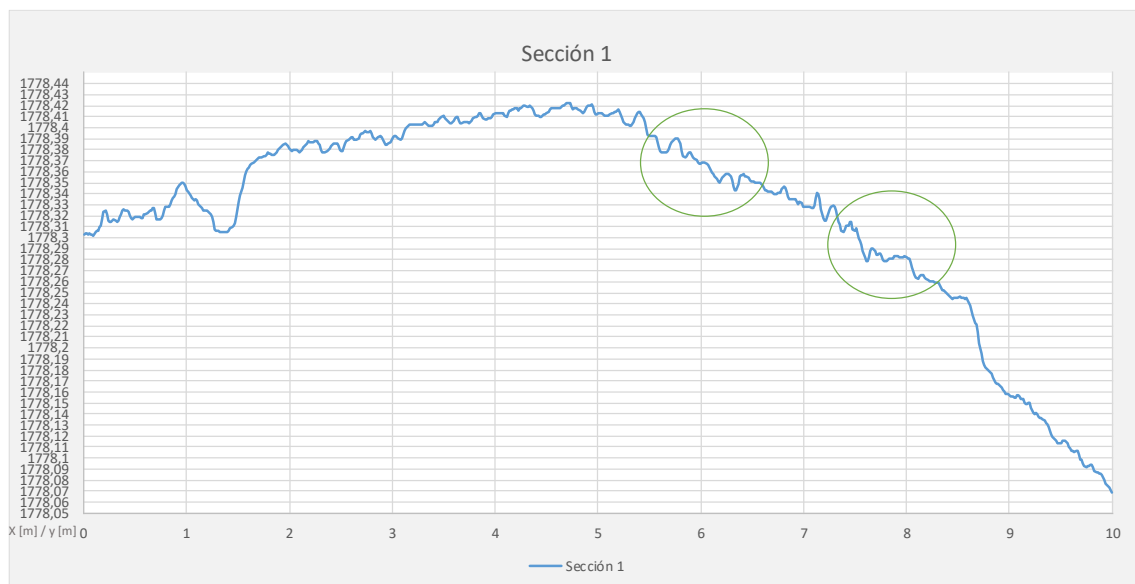
Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis comparativo con las mediciones que se realizaron sobre el modelo digital del terreno, se presentaron secciones transversales sobre zonas en las que se presentaron ahuellamientos.

3.4.7.3.1. Ahuellamiento presente en unidad de muestreo 14 A

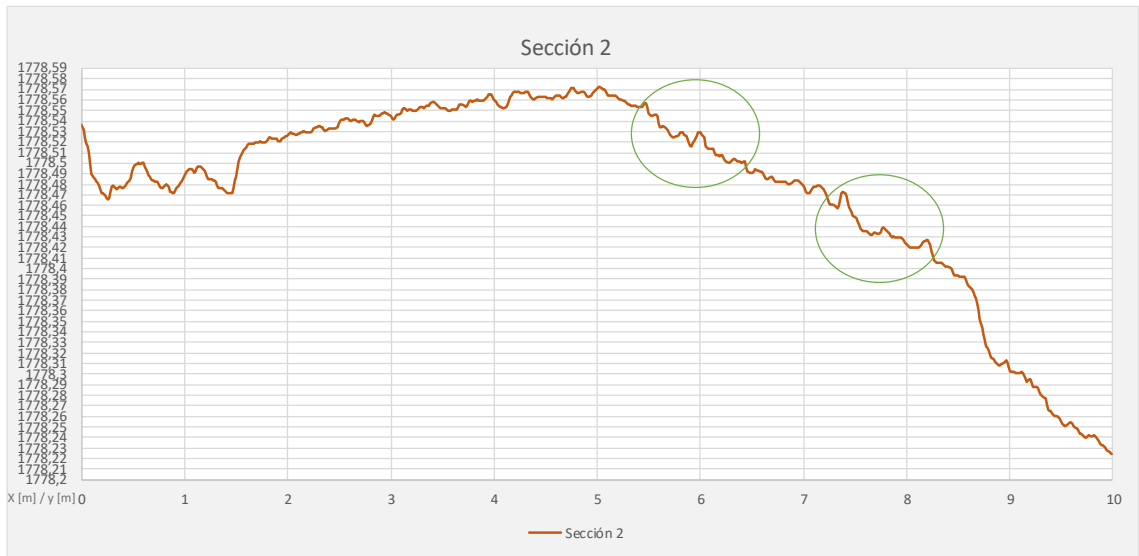
Se presentan las secciones transversales obtenidas del DEM para su análisis

Figura 150 sección transversal sobre ahuellamiento



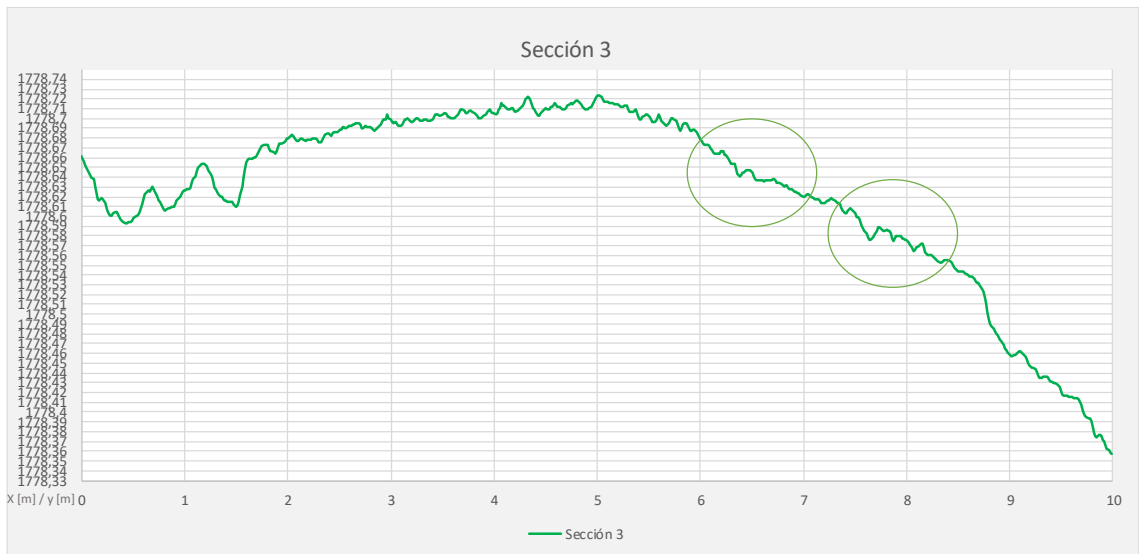
Fuente: Elaboración propia

Figura 151 sección transversal sobre ahuellamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 152 sección transversal sobre ahuellamiento



Fuente: Elaboración propia

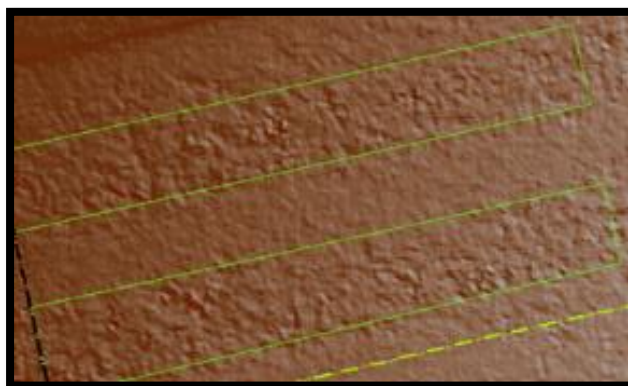
Las secciones transversales proporcionadas, corresponden a la unidad de muestro 14 A, a continuación, se presenta una fotografía de campo y una captura del modelo digital de terreno.

Figura 153 Fotografía de campo correspondiente al ahuellamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 154 Modelo digital del terreno correspondiente al ahuellamiento

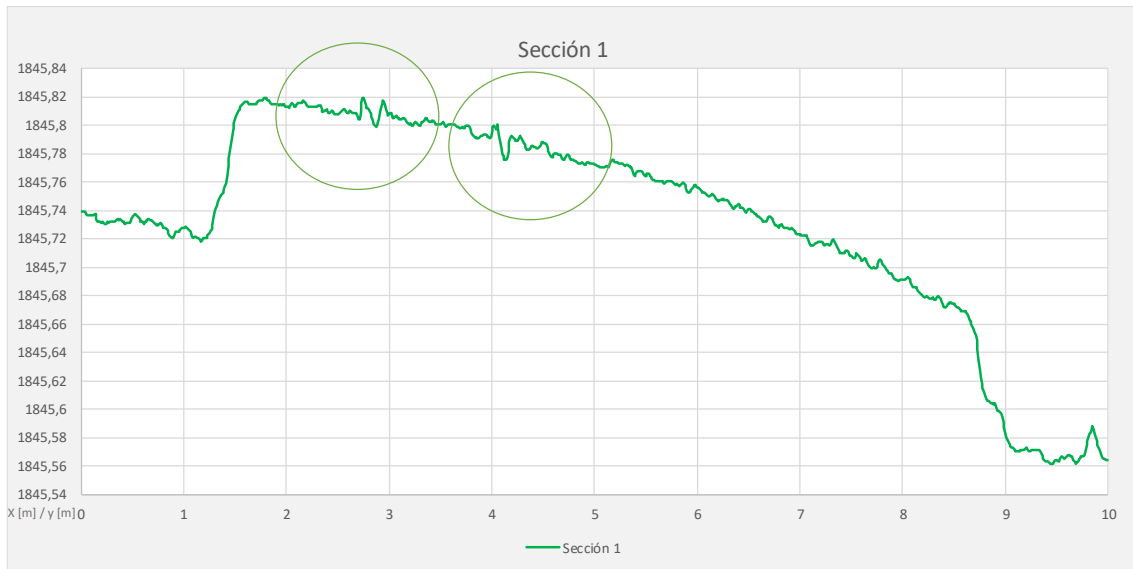


Fuente: Elaboración propia

3.4.7.3.2. Ahuellamiento presente en unidad de muestreo 14 A

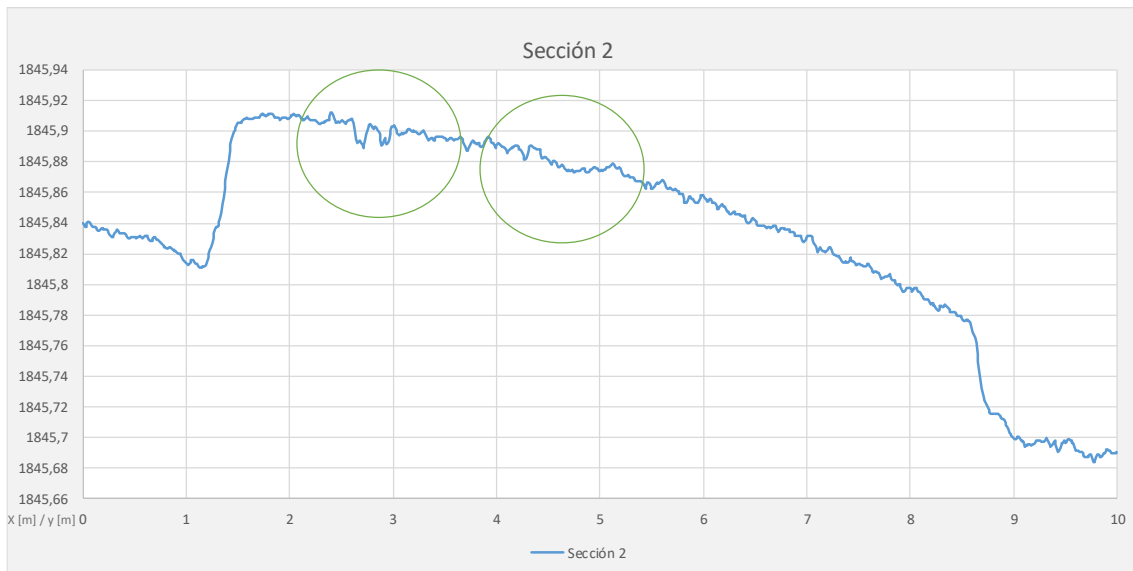
Se presentan las secciones transversales obtenidas del DEM para su análisis.

Figura 155 sección transversal sobre ahuellamiento



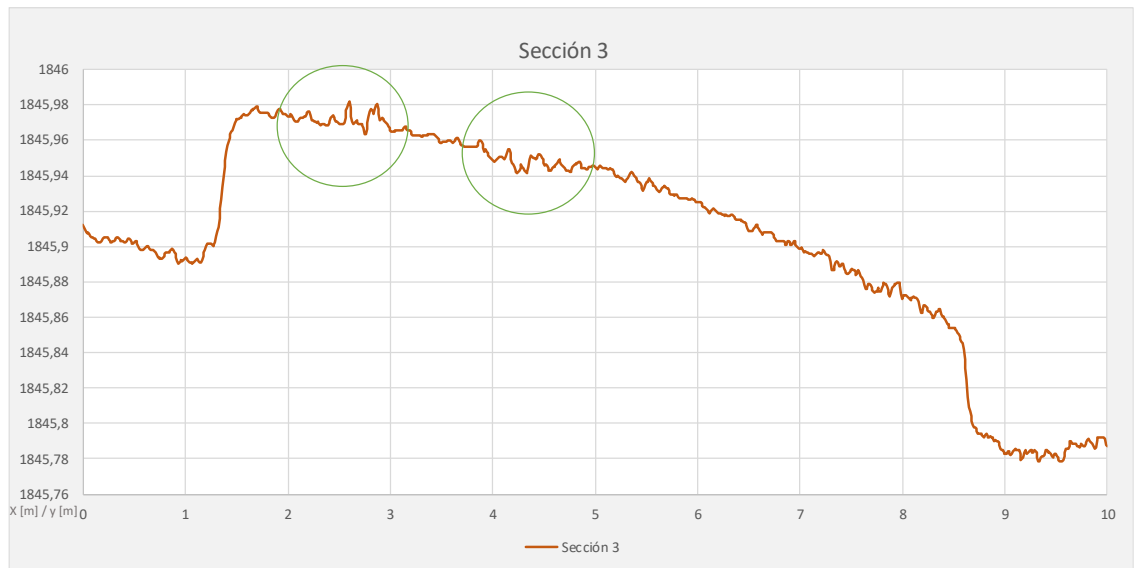
Fuente: Elaboración propia

Figura 156 sección transversal sobre ahuellamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 157 sección transversal sobre ahuellamiento



Fuente: Elaboración propia

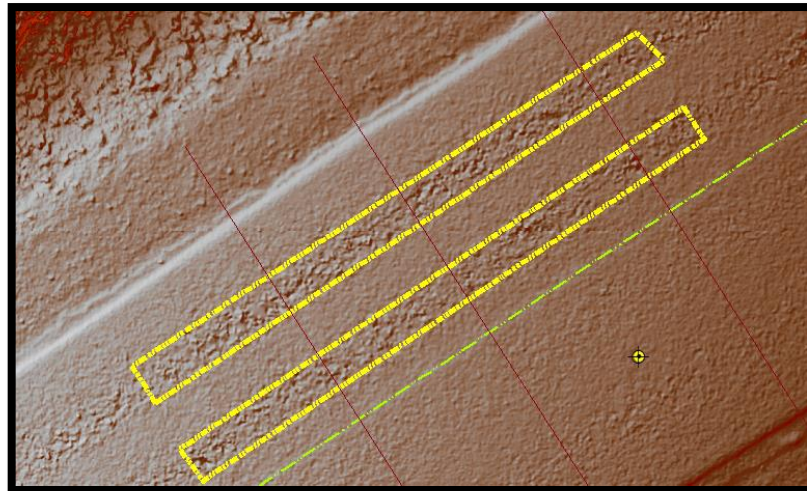
Las secciones transversales proporcionadas, corresponden a la unidad de muestro 2 A, a continuación, se presenta una fotografía de campo y una captura del modelo digital de terreno.

Figura 158 Fotografía de campo correspondiente al ahuellamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 159 Modelo digital del terreno correspondiente al ahuellamiento

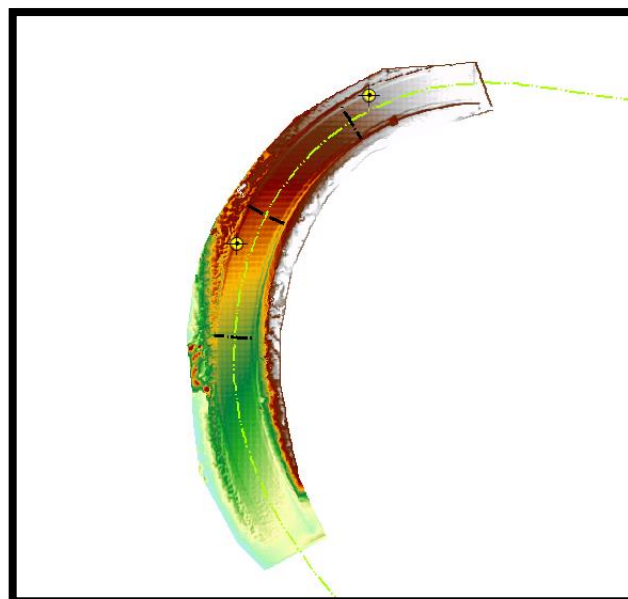


Fuente: Elaboración propia

3.4.7.4. Análisis de la medición del PCI en terreno inclinado

Las unidades de muestro número 11 y 11A, se encontraron en un tramo de la carretera situado sobre una pendiente y una curva, por lo que se tuvo un vuelo a 20 metros de altura al inicio, pero que a medida que el dron avanzaba a lo largo del eje del camino, suponía una mayor altura a causa de la pendiente presente.

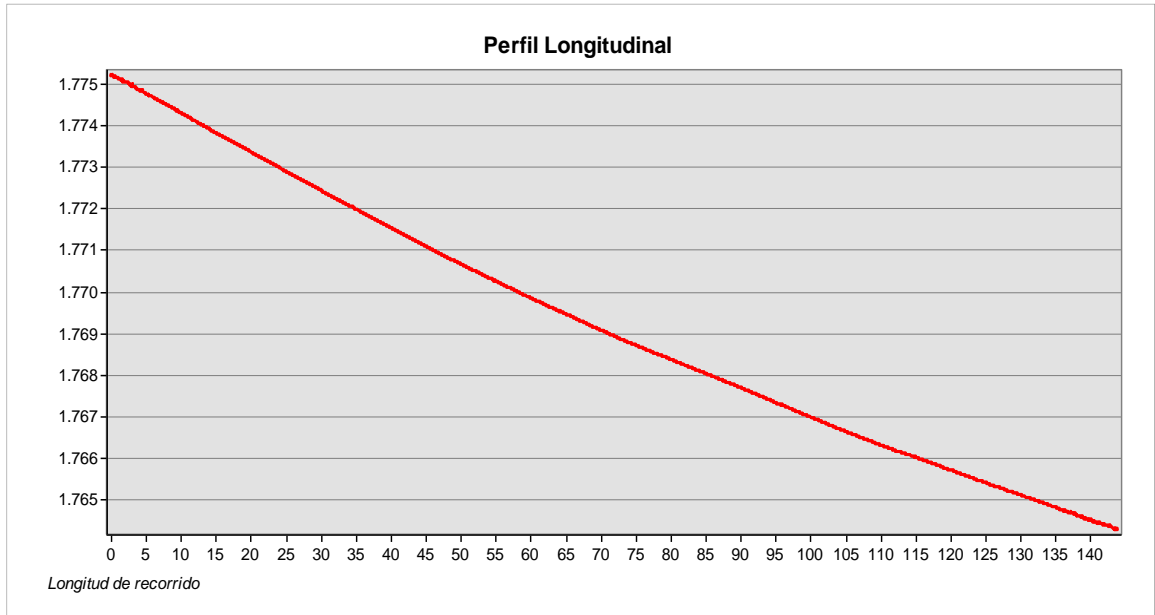
Figura 160 Modelo digital de elevación de U.M 11 y 11A



Fuente: Elaboración propia

La variación de colores en la figura demuestra la variación de la altura, sin embargo, se traza un perfil longitudinal para visualizar con certeza dicha variación del terreno.

Figura 161 Modelo digital de elevación de U.M 11 y 11A



Fuente: Elaboración propia

Por medio del perfil presentado, se logra identificar una cota de inicio de 1775.3 m y una final de 1764 m, correspondiendo esto a unos 11, m metros de variación.

Para un correcto análisis con lo que respecta a la precisión del trabajo y la ortofoto, se procedió a hacer un recalcu del GSD con la nueva altura de vuelo con respecto al terreno.

Tabla 17 Cálculo del GSD para una altura de vuelo de 31.3 m

Parámetro	Cantidad	Unidad
Altura de vuelo	31300	mm
Altura de sensor	8,1	mm
Distancia Focal	8,8	mm
Altura de imagen	3648	pixel
$\frac{\text{Altura de vuelo} \times \text{Distancia de sensor}}{\text{Distancia focal} \times \text{Altura de imagen}}$		
GSD	7898	mm

Fuente: Elaboración propia

El tamaño del Pixel resulta en 7.9 mm/pix o aproximadamente 8 mm al final del tramo, lo que supone una disminución de la resolución frente a la usada en todo el proyecto sobre terrenos planos, de 5 mm/pixel. No obstante, no deja de ser una muy buena resolución de trabajo, logrando así identificar fallas con severidades bajas.

Figura 162 Grieta de severidad baja, ubicada en el tramo inclinado



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

3.5.Cálculo del PCI

3.5.1.Para mediciones obtenidas de ortofotos tomadas por dron carril derecho

Tabla 18 Resumen de clasificación de PCI obtenido por dron carril derecho

Resumen de clasificación de PCI carril derecho							
Unidad de muestra	Prog. Inicial (km)	Prog. Final (km)	Área (m ²)	Max v.d.	(PCI) calculado	Clasificación del pavimento	Intervención de rango (PCI)
M - 01	KM 0+188,83	KM 0+220,30	229,7434	1,46	98,54	Excelente	Mantenimiento
M - 02	KM 0+723,85	KM 0+755,32	229,7434	2,16	97,84	Excelente	Mantenimiento
M - 03	KM 1+258,87	KM 1+290,34	229,7434	1,39	98,61	Excelente	Mantenimiento
M - 04	KM 1+793,89	KM 1+825,36	229,7434	9,79	90,21	Excelente	Mantenimiento
M - 05	KM 2+328,91	KM 2+360,38	229,7434	3,84	96,16	Excelente	Mantenimiento
M - 06	KM 2+863,92	KM 2+895,40	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 07	KM 3+398,94	KM 3+430,42	229,7434	1,3	98,7	Excelente	Mantenimiento
M - 08	KM 3+933,96	KM 3+965,43	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 09	KM 4+468,98	KM 4+500,45	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 10	KM 5+004,00	KM 5+035,47	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 11	KM 5+539,02	KM 5+570,49	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento

M - 12	KM 6+074,04	KM 6+105,51	229,7434	21,31	78,69	Muy bueno	Mantenimiento
M - 13	KM 6+609,06	KM 6+640,53	229,7434	3,3	96,7	Excelente	Mantenimiento
M - 14	KM 7+144,08	KM 7+175,55	229,7434	5,86	94,14	Excelente	Mantenimiento
M - 15	KM 7+679,09	KM 7+710,57	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 16	KM 8+214,11	KM 8+245,59	229,7434	16,19	83,81	Muy bueno	Mantenimiento
M - 01 A	KM 0+220,30	KM 0+251,77	229,7434	17,51	82,49	Muy bueno	Mantenimiento
M - 02 A	KM 0+755,32	KM 0+786,79	229,7434	20,8	79,2	Muy bueno	Mantenimiento
M - 03 A	KM 1+290,34	KM 1+321,81	229,7434	1,39	98,61	Excelente	Mantenimiento
M - 04 A	KM 1+825,36	KM 1+856,83	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 05 A	KM 2+360,38	KM 2+391,85	229,7434	23,55	76,45	Muy bueno	Mantenimiento
M - 06 A	KM 2+895,40	KM 2+926,87	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 07 A	KM 3+430,42	KM 3+461,89	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 08 A	KM 3+965,43	KM 3+996,91	229,7434	3,61	96,39	Excelente	Mantenimiento
M - 09 A	KM 4+500,45	KM 4+531,92	229,7434	2,09	97,91	Excelente	Mantenimiento
M - 10 A	KM 5+035,47	KM 5+066,94	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 11 A	KM 5+570,49	KM 5+601,96	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 12 A	KM 6+105,51	KM 6+136,98	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 13 A	KM 6+640,53	KM 6+672,00	229,7434	6,62	93,38	Excelente	Mantenimiento
M - 14 A	KM 7+175,55	KM 7+207,02	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 15 A	KM 7+710,57	KM 7+742,04	229,7434	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 16 A	KM 8+245,59	KM 8+277,06	229,7434	6,01	93,99	Excelente	Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Para mediciones obtenidas de ortofotos tomadas por dron carril izquierdo

Tabla 19 Resumen de clasificación de PCI obtenido por dron carril izquierdo

Resumen de clasificación de PCI carril izquierdo							
Unidad de muestra	Prog. Inicial (km)	Prog. Final (km)	Área (m ²)	Max v.d.	(PCI) calculado	Clasificación del pavimento	Intervención de rango (PCI)
M - 01	KM 0+188,83	KM 0+220,30	229,74341	6,9	93,1	Excelente	Mantenimiento
M - 02	KM 0+723,85	KM 0+755,32	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 03	KM 1+258,87	KM 1+290,34	229,74341	1,85	98,15	Excelente	Mantenimiento

M - 04	KM 1+793,89	KM 1+825,36	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 05	KM 2+328,91	KM 2+360,38	229,74341	11,95	88,05	Excelente	Mantenimiento
M - 06	KM 2+863,92	KM 2+895,40	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 07	KM 3+398,94	KM 3+430,42	229,74341	7,55	92,45	Excelente	Mantenimiento
M - 08	KM 3+933,96	KM 3+965,43	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 09	KM 4+468,98	KM 4+500,45	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 10	KM 5+004,00	KM 5+035,47	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 11	KM 5+539,02	KM 5+570,49	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 12	KM 6+074,04	KM 6+105,51	229,74341	18,32	81,68	Muy bueno	Mantenimiento
M - 13	KM 6+609,06	KM 6+640,53	229,74341	2	98	Excelente	Mantenimiento
M - 14	KM 7+144,08	KM 7+175,55	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 15	KM 7+679,09	KM 7+710,57	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 16	KM 8+214,11	KM 8+245,59	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 01 A	KM 0+220,30	KM 0+251,77	229,74341	9,44	90,56	Excelente	Mantenimiento
M - 02 A	KM 0+755,32	KM 0+786,79	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 03 A	KM 1+290,34	KM 1+321,81	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 04 A	KM 1+825,36	KM 1+856,83	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 05 A	KM 2+360,38	KM 2+391,85	229,74341	9,04	90,96	Excelente	Mantenimiento
M - 06 A	KM 2+895,40	KM 2+926,87	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 07 A	KM 3+430,42	KM 3+461,89	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 08 A	KM 3+965,43	KM 3+996,91	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 09 A	KM 4+500,45	KM 4+531,92	229,74341	31,83	68,17	Bueno	Mantenimiento
M - 10 A	KM 5+035,47	KM 5+066,94	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 11 A	KM 5+570,49	KM 5+601,96	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 12 A	KM 6+105,51	KM 6+136,98	229,74341	10,56	89,44	Excelente	Mantenimiento
M - 13 A	KM 6+640,53	KM 6+672,00	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 14 A	KM 7+175,55	KM 7+207,02	229,74341	19,04	80,96	Muy bueno	Mantenimiento
M - 15 A	KM 7+710,57	KM 7+742,04	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 16 A	KM 8+245,59	KM 8+277,06	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Para mediciones realizadas por auscultaciones directas carril derecho

Tabla 20 Resumen de clasificación de PCI obtenido con mediciones directas, carril derecho

Resumen de clasificación de PCI carril derecho							
Unidad de muestra	Prog. Inicial (km)	Prog. Final (km)	Área (m ²)	Max v.d.	(PCI) calculado	Clasificación del pavimento	Intervención de rango (PCI)
M - 01	KM 0+220,30	KM 0+251,77	229,74341	1,58	98,42	Excelente	Mantenimiento
M - 02	KM 0+755,32	KM 0+786,79	229,74341	2,22	97,78	Excelente	Mantenimiento
M - 03	KM 1+290,34	KM 1+321,81	229,74341	2,18	97,82	Excelente	Mantenimiento
M - 04	KM 1+825,36	KM 1+856,83	229,74341	11,14	88,86	Excelente	Mantenimiento
M - 05	KM 2+360,38	KM 2+391,85	229,74341	4,06	95,94	Excelente	Mantenimiento
M - 06	KM 2+895,40	KM 2+926,87	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 07	KM 3+430,42	KM 3+461,89	229,74341	1,45	98,55	Excelente	Mantenimiento
M - 08	KM 3+965,43	KM 3+996,91	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 09	KM 4+500,45	KM 4+531,92	229,74341	0,71	99,29	Excelente	Mantenimiento
M - 10	KM 5+035,47	KM 5+066,94	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 11	KM 5+570,49	KM 5+601,96	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 12	KM 6+105,51	KM 6+136,98	229,74341	22,16	77,84	Muy bueno	Mantenimiento
M - 13	KM 6+640,53	KM 6+672,00	229,74341	5,15	94,85	Excelente	Mantenimiento
M - 14	KM 7+175,55	KM 7+207,02	229,74341	10,1	89,9	Excelente	Mantenimiento
M - 15	KM 7+710,57	KM 7+742,04	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 16	KM 8+245,59	KM 8+277,06	229,74341	17,1	82,9	Muy bueno	Mantenimiento
M - 01 A	KM 0+220,30	KM 0+251,77	229,74341	17,32	82,68	Muy bueno	Mantenimiento
M - 02 A	KM 0+755,32	KM 0+786,79	229,74341	20,86	79,14	Muy bueno	Mantenimiento
M - 03 A	KM 1+290,34	KM 1+321,81	229,74341	1,56	98,44	Excelente	Mantenimiento
M - 04 A	KM 1+825,36	KM 1+856,83	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 05 A	KM 2+360,38	KM 2+391,85	229,74341	22,93	77,07	Muy bueno	Mantenimiento
M - 06 A	KM 2+895,40	KM 2+926,87	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 07 A	KM 3+430,42	KM 3+461,89	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 08 A	KM 3+965,43	KM 3+996,91	229,74341	3,5	96,5	Excelente	Mantenimiento
M - 09 A	KM 4+500,45	KM 4+531,92	229,74341	2,12	97,88	Excelente	Mantenimiento

M - 10 A	KM 5+035,47	KM 5+066,94	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 11 A	KM 5+570,49	KM 5+601,96	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 12 A	KM 6+105,51	KM 6+136,98	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 13 A	KM 6+640,53	KM 6+672,00	229,74341	7,38	92,62	Excelente	Mantenimiento
M - 14 A	KM 7+175,55	KM 7+207,02	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 15 A	KM 7+710,57	KM 7+742,04	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 16 A	KM 8+245,59	KM 8+277,06	229,74341	6,77	93,23	Excelente	Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Para mediciones realizadas por auscultaciones directas carril izquierdo

Tabla 21 Resumen de clasificación de PCI obtenido con mediciones directas, carril izquierdo

Resumen de clasificación de PCI carril izquierdo							
Unidad de muestra	Prog. Inicial (km)	Prog. Final (km)	Área (m2)	Max v.d.	(PCI) calculado	Clasificación del pavimento	Intervención de rango (PCI)
M - 01	KM 0+220,30	KM 0+251,77	229,74341	7,96	92,04	Excelente	Mantenimiento
M - 02	KM 0+755,32	KM 0+786,79	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 03	KM 1+290,34	KM 1+321,81	229,74341	1,85	98,15	Excelente	Mantenimiento
M - 04	KM 1+825,36	KM 1+856,83	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 05	KM 2+360,38	KM 2+391,85	229,74341	12	88	Excelente	Mantenimiento
M - 06	KM 2+895,40	KM 2+926,87	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 07	KM 3+430,42	KM 3+461,89	229,74341	9,22	90,78	Excelente	Mantenimiento
M - 08	KM 3+965,43	KM 3+996,91	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 09	KM 4+500,45	KM 4+531,92	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 10	KM 5+035,47	KM 5+066,94	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 11	KM 5+570,49	KM 5+601,96	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 12	KM 6+105,51	KM 6+136,98	229,74341	18,32	81,68	Muy bueno	Mantenimiento
M - 13	KM 6+640,53	KM 6+672,00	229,74341	2	98	Excelente	Mantenimiento
M - 14	KM 7+175,55	KM 7+207,02	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 15	KM 7+710,57	KM 7+742,04	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 16	KM 8+245,59	KM 8+277,06	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento

M - 01 A	KM 0+220,30	KM 0+251,77	229,74341	9,33	90,67	Excelente	Mantenimiento
M - 02 A	KM 0+755,32	KM 0+786,79	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 03 A	KM 1+290,34	KM 1+321,81	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 04 A	KM 1+825,36	KM 1+856,83	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 05 A	KM 2+360,38	KM 2+391,85	229,74341	9,15	90,85	Excelente	Mantenimiento
M - 06 A	KM 2+895,40	KM 2+926,87	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 07 A	KM 3+430,42	KM 3+461,89	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 08 A	KM 3+965,43	KM 3+996,91	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 09 A	KM 4+500,45	KM 4+531,92	229,74341	31,83	68,17	Bueno	Mantenimiento
M - 10 A	KM 5+035,47	KM 5+066,94	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 11 A	KM 5+570,49	KM 5+601,96	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 12 A	KM 6+105,51	KM 6+136,98	229,74341	13,82	86,18	Excelente	Mantenimiento
M - 13 A	KM 6+640,53	KM 6+672,00	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 14 A	KM 7+175,55	KM 7+207,02	229,74341	18,98	81,02	Muy bueno	Mantenimiento
M - 15 A	KM 7+710,57	KM 7+742,04	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento
M - 16 A	KM 8+245,59	KM 8+277,06	229,74341	0	100	Excelente	Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

3.6. Análisis de resultados obtenidos

Se utilizó la Metodología basada en el procesamiento digital de imágenes tomadas por dron, debido al aumento de diferentes softwares que permiten contar con nuevas herramientas que se pueden poner al servicio de la ingeniería civil. Se han utilizado los programas Arc Gis 10.5, y Agisoft Metashape, los cuales permitieron identificar las fallas superficiales del pavimento y el de planillas Excel propias y elaboradas para el objeto de la presente investigación, se ha determinado el Índice de la Condición del pavimento.

Según la inspección con dron frente a inspección tradicional, se encontraron pocas patologías en ambos métodos empleados. La cuantificación total de patologías, sumando los 32 tramos evaluados, arrojó valores muy cercanos para ambos métodos, siendo 9 los tipos de fallas encontrados en el área de estudio para la inspección tradicional y de igual manera 9 para la inspección con el dron, lo que demuestra la viabilidad de utilizar el dron para cuantificar patologías sobre pavimentos.

A continuación, se presenta un cuadro de todas las fallas encontradas en el estudio con sus cantidades, para ortofotos y mediciones directas, con el objetivo de observar su variación.

Tabla 22 Comparación de métodos de medición

Daño	Severidad	Cantidad medida por ortofotos	Cantidad medida por auscultaciones directas	Unidad de muestreo	Carril	Variación (%)
10	L	0,617	0,650	1	Izq.	5%
10	L	1,003	1,020	1	Der	2%
10	M	1,421	1,510	1	Der	6%
10	M	6,899	7,950	1	Izq.	13%
10	L	5,344	5,320	2	Der	0%
10	L	0,733	0,710	2	Der	3%
10	L	1,104	1,260	2	Der	12%
10	L	-	1,430	2	Izq.	100%
10	M	-	0,920	2	Izq.	100%
10	L	1,522	1,500	3	Izq.	1%
10	L	5,196	5,210	3	Izq.	0%
10	L	6,161	6,100	3	Der	1%
10	L	-	0,430	3	Der	100%
10	L	-	0,470	3	Der	100%
10	L	-	0,220	3	Der	100%
1	L	0,256	0,250	4	Der	3%
1	M	0,290	0,294	4	Der	1%
1	M	-	0,450	4	Der	100%
10	L	1,395	1,400	5	Der	0%
10	L	5,311	5,420	5	Der	2%
10	L	2,798	3,210	5	Der	13%
10	L	0,932	0,900	5	Der	4%
10	M	12,186	12,240	5	Izq.	0%
10	L	1,062	1,020	6	Der	4%
10	L	0,506	0,500	6	Der	1%
10	L	0,561	0,530	6	Der	6%
10	L	0,504	0,580	6	Der	13%
10	L	0,795	0,800	6	Der	1%
10	L	0,666	0,600	6	Der	11%
10	L	0,589	0,600	6	Izq.	2%
10	L	0,520	0,550	6	Izq.	5%

10	L	0,338	0,320	6	Izq.	6%
10	L	5,770	5,700	7	Der	1%
10	L	1,881	1,870	7	Izq.	1%
10	L	4,192	4,790	7	Izq.	12%
10	L	-	0,530	7	Der	100%
10	M	1,976	2,010	7	Izq.	2%
10	M	4,241	5,390	7	Izq.	21%
10	L	0,401	0,400	8	Izq.	0%
10	L	0,956	0,950	8	Izq.	1%
10	L	0,740	0,700	8	Izq.	6%
10	L	0,917	0,950	8	Izq.	3%
10	L	0,799	0,800	8	Izq.	0%
10	L	1,770	1,770	9	Izq.	0%
10	L	2,461	3,700	9	Der	33%
10	L	1,380	1,620	9	Der	15%
10	L	-	0,900	9	Izq.	100%
10	L	-	1,050	10	Der	100%
10	L	-	0,400	10	Der	100%
10	L	0,759	0,900	11	Der	16%
19	L	0,753	1,040	11	Izq.	28%
5	M	0,990	1,000	12	Izq.	1%
5	M	1,350	1,332	12	Izq.	1%
7	H	16,873	18,500	12	Der	9%
10	M	4,818	4,780	12	Der	1%
10	M	2,970	2,920	12	Izq.	2%
10	M	3,928	3,940	12	Der	0%
10	M	3,240	3,200	13	Der	1%
10	M	-	1,950	13	Der	100%
11	L	0,075	0,158	13	Izq.	53%
19	L	0,500	0,315	13	Izq.	59%
19	L	1,476	1,501	13	Izq.	2%
19	L	0,961	1,008	13	Izq.	5%
19	M	0,495	0,478	14	Der	4%
10	L	0,167	0,170	15	Der	2%
10	L	0,310	0,310	16	Der	0%
10	L	0,359	0,400	16	Der	10%
10	L	0,409	0,360	16	Der	14%
10	L	0,302	0,300	16	Der	1%
11	H	1,440	1,610	16	Der	11%
10	L	0,331	0,400	10A	Der	17%

10	L	1,003	0,920	10A	Der	9%
10	L	-	1,030	10A	Izq.	100%
10	L	-	1,930	10A	Izq.	100%
10	L	0,590	0,560	11A	Der	5%
10	L	0,842	0,800	11A	Izq.	5%
10	L	1,767	1,800	11A	Izq.	2%
10	L	-	1,100	11A	Izq.	100%
10	L	-	0,700	11A	Izq.	100%
1	L	0,323	0,368	12A	Izq.	12%
4	L	1,710	2,600	12A	Der	34%
10	M	10,543	10,300	12A	Izq.	2%
10	L	0,417	0,280	12A	Izq.	49%
12	L	0,349	0,410	12A	Izq.	15%
10	M	2,694	3,100	13A	Der	13%
10	L	-	2,100	13A	Izq.	100%
10	M	3,921	4,280	13A	Der	8%
15	L	4,677	4,550	14A	Izq.	3%
15	L	4,450	4,510	14A	Izq.	1%
10	L	1,012	0,890	15A	Der	14%
10	L	0,249	0,260	16A	Der	4%
10	L	0,340	0,360	16A	Der	6%
10	L	0,446	0,430	16A	Izq.	4%
19	H	0,262	0,210	16A	Der	25%
19	L	0,020	0,060	16A	Der	67%
10	L	0,545	0,700	1A	Der	22%
10	L	2,041	2,100	1A	Izq.	3%
10	L	4,277	4,280	1A	Izq.	0%
10	L	3,559	3,140	1A	Izq.	13%
10	L	2,095	2,030	1A	Izq.	3%
10	M	4,951	5,000	1A	Izq.	1%
10	M	3,255	3,300	1A	Der	1%
10	M	5,781	5,600	1A	Der	3%
10	M	9,555	9,440	1A	Der	1%
10	M	2,868	2,760	1A	Der	4%
15	L	5,564	5,760	2A	Der	3%
15	L	5,924	5,810	2A	Der	2%
10	L	2,964	3,300	3A	Der	10%
10	L	2,437	2,280	3A	Der	7%
10	L	0,760	0,790	3A	Der	4%

10	H	1,283	1,140	5A	Der	13%
10	H	0,533	0,500	5A	Der	7%
10	H	1,853	1,600	5A	Der	16%
10	H	7,028	7,000	5A	Der	0%
10	M	7,455	8,430	5A	Der	12%
10	M	9,040	9,150	5A	Izq.	1%
10	L	-	0,400	6A	Der	100%
10	L	-	0,530	6A	Der	100%
10	L	-	0,750	6A	Der	100%
10	L	2,228	1,990	7A	Izq.	12%
10	L	0,372	0,510	7A	Izq.	27%
10	L	0,802	1,120	7A	Der	28%
10	L	-	0,350	7A	Izq.	100%
10	L	-	1,070	7A	Der	100%
10	M	1,016	1,000	7A	Izq.	2%
10	L	1,342	1,380	8A	Izq.	3%
10	L	1,012	1,100	8A	Izq.	8%
10	L	-	0,560	8A	Der	100%
10	M	3,557	3,440	8A	Der	3%
10	L	4,294	4,390	9A	Der	2%
10	L	2,752	2,700	9A	Der	2%
15	H	3,539	3,540	9A	Izq.	0%

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la identificación de patologías, no hubo diferencia entre el método de inspección tradicional y el método de inspección dron. En cuanto a la cantidad de defectos por tipo de patología, existen variaciones entre cada medición, siendo las más evidentes las dallas grietas de severidad baja, y cantidad reducida. Estas fallas al ser pequeñas y poco visibles en las ortofotos, sin embargo, es importante analizar que para el procedimiento del PCI dichas fallas tienen densidades bajas y por lo tanto un valor deducido igual a 0, resultando así en su irrelevancia para el estudio.

Respecto al tiempo dedicado a la inspección, se encontró que el análisis realizado con el dron (4 minutos de vuelo y 16 minutos para evaluación de imagen) tomó menos de 1/4 del tiempo dedicado a realizar la inspección tradicional. Considerando que en la presente investigación se evaluaron 32 tramos con una longitud de muestreo de 31,5m.

Se logra determinar que la vía evaluada presenta una condición global de pavimento excelente, con lo cual el pavimento brinda condiciones adecuadas para los usuarios y no requiere ser intervenido con suma urgencia.

3.6.1. Comparación del PCI obtenido por las diferentes metodologías de colección de información

Se observa que los valores de PCI son bastante cercanos, siendo la alternativa de auscultación con dron, una alternativa de evaluación superficial del pavimento mediante imágenes georreferenciadas, una opción viable para este tipo de trabajos.

En relación a los rendimientos para el relevamiento de las fallas en campo, se evaluaron 32 unidades de muestra en 40 minutos cada una, con el método convencional con una cuadrilla de trabajo constituida por 3 personas.

Mientras que, con el método por dron, se procedió al relevamiento fotogramétrico cada unidad en tan sólo 7 minutos con un personal conformado por el operador y un solo ayudante. Esta alternativa muestra gran ventaja de emplear dron con respecto al método convencional al poder relevar sin riesgo alguno el área de estudio, además de no estar limitados en cuanto a la determinación de unidades mínimas de muestra o muestras adicionales, lo que genera menos costo de inspección.

No ha sido necesario cerrar la vía para ejecutar el vuelo en campo. Durante la prospección área se capturaron ciertos elementos tales como vehículos en las imágenes obtenidas, mismos que fácilmente pudieron 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 integridad del equipo de trabajo.

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 puede elaborar una meta data que sirva para futuros trabajos de mantenimiento e inventario vial. Con el procedimiento y uso de herramientas SIG, se pueden determinar las medidas de longitud, área y profundidad.

Se pueden elaborar planos de fallas puntuales, identificando el lugar de cada falla con sus respectivos cómputos métricos para su posterior mantenimiento.

La información puede ser almacenada para un registro multitemporal y puede ser analizada cuantas veces sea necesaria sin necesidad de realizar otro vuelo. 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 por dron, permite la interpretación con fines de establecer estrategias de mantenimiento y rehabilitación para beneficio de los usuarios.

Tabla 23 Estimación del error absoluto y relativo comparando el PCI obtenido con el VANT con el PCI por auscultaciones directas carril Derecho

Datos de tramos de evaluación carril izquierdo				Directo	Vant	Análisis comparativo			
Unidad de muestra	Prog. Inicial (km)	Prog. Final (km)	Área (m2)	(PCI) calculado	(PCI) calculado	Error absoluto	Error relativo	Error relativo %	% de acierto
M - 01	KM 0+220,30	KM 0+251,77	229,7434	98,42	98,54	0,12	0,001	0,122	99,878
M - 02	KM 0+755,32	KM 0+786,79	229,7434	97,78	97,84	0,06	0,001	0,061	99,939
M - 03	KM 1+290,34	KM 1+321,81	229,7434	97,82	98,61	0,79	0,008	0,808	99,192
M - 04	KM 1+825,36	KM 1+856,83	229,7434	88,86	90,21	1,35	0,015	1,519	98,481
M - 05	KM 2+360,38	KM 2+391,85	229,7434	95,94	96,16	0,22	0,002	0,229	99,771
M - 06	KM 2+895,40	KM 2+926,87	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,000
M - 07	KM 3+430,42	KM 3+461,89	229,7434	98,55	98,7	0,15	0,002	0,152	99,848
M - 08	KM 3+965,43	KM 3+996,91	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,000
M - 09	KM 4+500,45	KM 4+531,92	229,7434	99,29	100	0,71	0,007	0,715	99,285
M - 10	KM 5+035,47	KM 5+066,94	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,000
M - 11	KM 5+570,49	KM 5+601,96	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,000
M - 12	KM 6+105,51	KM 6+136,98	229,7434	77,84	78,69	0,85	0,011	1,092	98,908
M - 13	KM 6+640,53	KM 6+672,00	229,7434	94,85	96,7	1,85	0,020	1,950	98,050
M - 14	KM 7+175,55	KM 7+207,02	229,7434	89,9	94,14	4,24	0,047	4,716	95,284
M - 15	KM 7+710,57	KM 7+742,04	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,000
M - 16	KM 8+245,59	KM 8+277,06	229,7434	82,9	83,81	0,91	0,011	1,098	98,902
M - 01 A	KM 0+220,30	KM 0+251,77	229,7434	82,68	82,49	0,19	0,002	0,230	99,770
M - 02 A	KM 0+755,32	KM 0+786,79	229,7434	79,14	79,2	0,06	0,001	0,076	99,924
M - 03 A	KM 1+290,34	KM 1+321,81	229,7434	98,44	98,61	0,17	0,002	0,173	99,827
M - 04 A	KM 1+825,36	KM 1+856,83	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,000

M - 05 A	KM 2+360,38	KM 2+391,85	229,7434	77,07	76,45	0,62	0,008	0,804	99,196
M - 06 A	KM 2+895,40	KM 2+926,87	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 07 A	KM 3+430,42	KM 3+461,89	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 08 A	KM 3+965,43	KM 3+996,91	229,7434	96,5	96,39	0,11	0,001	0,114	99,886
M - 09 A	KM 4+500,45	KM 4+531,92	229,7434	97,88	97,91	0,03	0,000	0,031	99,969
M - 10 A	KM 5+035,47	KM 5+066,94	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 11 A	KM 5+570,49	KM 5+601,96	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 12 A	KM 6+105,51	KM 6+136,98	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 13 A	KM 6+640,53	KM 6+672,00	229,7434	92,62	93,38	0,76	0,008	0,821	99,179
M - 14 A	KM 7+175,55	KM 7+207,02	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 15 A	KM 7+710,57	KM 7+742,04	229,7434	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 16 A	KM 8+245,59	KM 8+277,06	229,7434	93,23	93,99	0,76	0,008	0,815	99,185

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Estimación del error absoluto y relativo comparando el PCI obtenido con el VANT con el PCI por auscultaciones directas carril izquierdo

Datos de tramos de evaluación carril izquierdo				Directo	Vant	Análisis comparativo			
Unidad de muestra	Prog. Inicial (km)	Prog. Final (km)	Área (m ²)	(PCI) calculado	(PCI) calculado	Error absoluto	Error relativo	Error relativo %	% de acierto
M - 01	KM 0+220,30	KM 0+251,77	229,7434 1	92,04	93,1	1,06	0,012	1,152	98,848
M - 02	KM 0+755,32	KM 0+786,79	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 03	KM 1+290,34	KM 1+321,81	229,7434 1	98,15	98,15	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 04	KM 1+825,36	KM 1+856,83	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 05	KM 2+360,38	KM 2+391,85	229,7434 1	88	88,05	0,05	0,001	0,057	99,943
M - 06	KM 2+895,40	KM 2+926,87	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 07	KM 3+430,42	KM 3+461,89	229,7434 1	90,78	92,45	1,67	0,018	1,840	98,160
M - 08	KM 3+965,43	KM 3+996,91	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 09	KM 4+500,45	KM 4+531,92	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 10	KM 5+035,47	KM 5+066,94	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 11	KM 5+570,49	KM 5+601,96	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 12	KM 6+105,51	KM 6+136,98	229,7434 1	81,68	81,68	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 13	KM 6+640,53	KM 6+672,00	229,7434 1	98	98	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 14	KM 7+175,55	KM 7+207,02	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 15	KM 7+710,57	KM 7+742,04	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0

M - 16	KM 8+245,59	KM 8+277,06	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 01 A	KM 0+220,30	KM 0+251,77	229,7434 1	90,67	90,56	0,11	0,001	0,121	99,879
M - 02 A	KM 0+755,32	KM 0+786,79	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 03 A	KM 1+290,34	KM 1+321,81	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 04 A	KM 1+825,36	KM 1+856,83	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 05 A	KM 2+360,38	KM 2+391,85	229,7434 1	90,85	90,96	0,11	0,001	0,121	99,879
M - 06 A	KM 2+895,40	KM 2+926,87	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 07 A	KM 3+430,42	KM 3+461,89	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 08 A	KM 3+965,43	KM 3+996,91	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 09 A	KM 4+500,45	KM 4+531,92	229,7434 1	68,17	68,17	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 10 A	KM 5+035,47	KM 5+066,94	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 11 A	KM 5+570,49	KM 5+601,96	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 12 A	KM 6+105,51	KM 6+136,98	229,7434 1	86,18	89,44	3,26	0,038	3,783	96,217
M - 13 A	KM 6+640,53	KM 6+672,00	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 14 A	KM 7+175,55	KM 7+207,02	229,7434 1	81,02	80,96	0,06	0,001	0,074	99,926
M - 15 A	KM 7+710,57	KM 7+742,04	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0
M - 16 A	KM 8+245,59	KM 8+277,06	229,7434 1	100	100	0,00	0,000	0,000	100,00 0

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El tramo Cruce Al Valle de Concepción –Valle De Concepción tiene un índice de condición de pavimento de 95.8 calculado para el carril izquierdo y de 94.99 para el carril derecho, que refleja una clasificación de pavimento excelente por la escasa cantidad de fallas encontradas a lo largo de las unidades de estudio, considerando un manteniendo preventivo como medida de intervención acorde al rango del PCI
- El cálculo del PCI por medio de Ortofotos tomadas por dron es de 95.98 para el carril izquierdo y de 95.37 para el carril derecho.
- El uso del Dron Phantom 4+ RTK es confiable para el cálculo de PCI considerando los resultados promedio de ambos procedimientos (95.8 para auscultaciones directas carril izquierdo y 95.98 para ortofotos obtenidas por dron carril izquierdo; y de 94.99 para auscultaciones carril derecho y de 95.37 para ortofotos obtenidas por dron carril derecho) que indican un estado general del pavimento como Excelente.
- Realizada la comparación del índice de condición de pavimento tanto con método directo y mediante ortofotos obtenidas por dron, los resultados llegan a ser confiables en un 99,65 %
- Como ventaja principal respecto al uso de dron, se puede evaluar completamente la vía sin determinar de manera precisa en campo la longitud de las unidades de muestra ni la de los intervalos entre cada unidad, lo que refleja la realidad del problema con fidelidad y seguridad en la intervención. Además, la información puede ser reproducible en cualquier momento a fin de analizar la evolución de las fallas en el tiempo y establecer las medidas preventivas de conservación.
- Al momento de comparar las mediciones, en ortofotos tomadas a 60 y 20 metros, se determinó que la altura adecuada para el proyecto es de 20 metros, para garantizar una mayor exactitud en el trabajo y no comprender la seguridad del equipo por posibles colisiones con vegetación y terrenos accidentados.
- El empleo de dron es muy preciso y rápido para el relevamiento y recopilación de la información de campo, debido a su alta resolución y fácil manejo, ya que brinda resultados óptimos a la presente investigación. Resulta ser una alternativa económica

y flexible para la adquisición de datos sobre las distintas fallas del pavimento de concreto asfáltico.

- El análisis de resultados y precisión de trabajo en un tramo inclinado no presenta dificultades ni deficiencias al tener una variación de tamaño de pixel de la ortofoto de aproximadamente 2 mm a lo largo de la variación de altura de vuelo.
- El uso de dron permite el levantamiento de información en corto tiempo cubriendo mayor extensión de evaluación y en menor tiempo, sin interrumpir el tráfico ni poner en riesgo a los evaluadores de campo. Además, permite reducir el personal de campo en comparación con el método tradicional, reduciendo los costos de evaluación.
- La evaluación superficial de pavimentos empleando imágenes obtenidas por dron es conveniente para gestionar actividades de mantenimiento y/o rehabilitación de las vías urbanas.
- Las principales variaciones al momento de realizar las mediciones con dron, se presentan en las fallas de severidad baja y de cantidad reducida, puesto que al ser fallas milimétricas, dificulta su identificación y ubicación.

4.2.Recomendaciones

- Es recomendable realizar el plan de vuelo con anticipación con vuelos considerando la geometría y topografía 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, entre las 8:00 am y las 2:00 pm, de manera que las imágenes obtenidas no sean afectadas por sombra.
- Se debe realizar la calibración del vehículo aéreo no tripulado antes de realizar el vuelo, así como también tener actualizado las aplicaciones del dispositivo, el firmware de VANT y del radiocontrol.
- Para realizar la evaluación superficial de la vía en gabinete será necesaria la guía de profesionales con experiencia en el área y colaboradores capacitados.
- Comprobar la metodología en otros tipos de pavimentos, que perfeccione el proceso y ajuste el algoritmo de interpretación de vistas georreferenciadas.
- Emplear la nueva metodología de recopilación de información en tramos con daños de mayor severidad y cantidad

- Es recomendable analizar la ubicación del proyecto, considerando objetos o elementos que puedan generar sombras u obstruir en las fotografías, de tal manera que se pierda información.
- Se recomienda realizar en paralelo un relevamiento de las fallas encontradas al momento de realizar los planes de vuelo, de tal manera que se pueda contar con un croquis de las fallas que se logran ver con una inspección simple, para facilitar su ubicación e identificación al momento de trabajar con las ortofotos.
- En tramos con pendiente pronunciada, o inclinados, se debe tomar en cuenta la variación del nivel de suelo, para prever posibles distorsiones a causa de la altura de vuelo.
- Para facilitar el proceso de limpieza de objetos en las fotografías, se recomienda realizar una limpieza del área de estudio, despejando el pavimento de posibles obstáculos como piedras, basura, ramas, etc. Del mismo modo, resulta ser una práctica correcta el detener o pausar el plan de vuelo del dron en el aire en el momento en que se escuche y se vea que un vehículo atravesará por el tramo estudiado, para así evitar que este salga en las fotografías y tengamos una ortofoto libre de obstáculos