

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

**“CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO  
CON IMÁGENES DEL VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**JORGE OMAR CRUZ TORIBIO**

**ASESOR**

**MSc. José W. Gutiérrez Lazares**

**Lima- Perú**

**2018**

© 2018, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la Tesis en su totalidad o en parte,  
con fines estrictamente académicos.”**

Cruz Toribio, Jorge Omar

[jorge.cruz.tb@gmail.com](mailto:jorge.cruz.tb@gmail.com)

+51972255557 – 4340848

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis a mis padres por su amor y apoyo incondicional en todo momento, espero hacerlos sentir orgullosos. A mis hermanos por los consejos y motivación para cumplir mis objetivos. A mi asesor por el apoyo brindado en las investigaciones realizadas y la elaboración de la tesis.

---

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>PRÓLOGO</b> .....	6
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	7
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	8
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS</b> .....	11
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	12
1.1 ANTECEDENTES .....	13
1.2 PROBLEMÁTICA .....	14
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	15
1.4 OBJETIVOS .....	15
1.4.1 Objetivo General .....	15
1.4.2 Objetivos Específicos .....	15
1.5 HIPÓTESIS .....	15
1.5.1 Hipótesis General .....	15
1.6 METODOLOGÍA .....	15
1.6.1 Enfoque y tipo de investigación .....	15
1.6.2 Diseño de la investigación .....	16
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	17
2.1 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO .....	17
2.1.1 Pavimentos Flexibles .....	17
2.1.2 Comportamiento de los Pavimentos .....	18
2.2 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS .....	20
2.2.1 Evaluación Superficial .....	20
2.3 METODO PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) .....	22
2.3.1 Antecedentes .....	22



2.3.2 Clasificación del Índice de Condición del Pavimento .....	23
2.3.4 Unidades de relevamiento .....	25
2.3.5 Estrategia de inspección .....	26
2.3.6 Cálculo del PCI de la unidad de muestra .....	27
2.3.7 Cálculo del PCI de una sección del pavimento.....	29
2.3.8 Interpretación del PCI .....	30
2.3.9 Catálogo de fallas en pavimentos Flexibles.....	31
2.4 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO .....	32
2.4.1 Antecedentes .....	32
2.4.2 Unmanned Aerial Vehicle (UAV / VANT) .....	33
2.4.3 Clasificación de los UAV .....	33
2.4.3.1 UAV - Alas fijas.....	33
2.4.3.2 UAV - Alas rotatoria o multirrotor .....	34
2.4.3.3 UAV - Híbridos.....	36
2.4.4 Aplicaciones civiles .....	36
2.4.5 Futuras aplicaciones en áreas urbanas .....	37
<b>CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DEL PCI CON IMÁGENES VANT GEORREFERENCIADAS .....</b>	<b>39</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	39
3.2 VUELO FOTOGRAMÉTRICO .....	40
3.2.1 Equipo utilizado.....	40
3.2.2. Plan de vuelo .....	40
3.2.3 Ejecución de vuelo.....	42
3.3 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	43
3.3.1 Procesamiento inicial.....	43
3.3.2 Nube de puntos densa.....	45
3.3.3 Ortofoto y Modelo digital de superficie .....	46
3.3.4 Limpieza de obstáculos .....	47

3.4 INPECCIÓN DE LA VÍA.....	48
<b>CAPÍTULO IV: METODO VANT Y PCI EN ZONA DE PRUEBA .....</b>	<b>49</b>
4.1 TRAMO DE PRUEBA .....	49
4.1.1 Ubicación .....	49
4.1.2 Características de la vía .....	49
4.1.3 Características de la zona .....	50
4.1.4 Características del tránsito .....	50
4.2 APLICACIÓN DEL METODO PCI.....	51
4.2.1 Muestreo y unidades de muestreo .....	51
4.2.2 Levantamiento de fallas en campo.....	53
4.2.3 Rendimiento de inspección y personal de campo .....	56
4.2.4 Cálculo del PCI en unidad de muestra.....	56
4.2.4 Interpretación de Resultados.....	60
4.3 MÉTODO VANT.....	61
4.3.1 Plan de Vuelo.....	61
4.3.2 Ejecución de vuelo.....	62
4.3.3 Procesamiento de las imágenes .....	62
4.3.4 Identificación y metrado de fallas .....	66
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS</b>	
Anexo 1.- Catálogo de fallas en pavimentos Flexibles .....	78
Anexo 2.- Inspección y PCI .....	97
Anexo 3.- PCI empleando VANT .....	104

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación expone una metodología alternativa para la evaluación superficial de pavimentos empleando imágenes georreferenciadas, obtenidas de un vehículo aéreo no tripulado (VANT), que se procesan generando una ortofoto y un modelamiento en 3D de alta resolución. El análisis de este modelo permite la inspección total de la vía de manera segura, identificando el tipo de deterioro, su severidad y la densidad dañada, como parámetros e insumos para emplear el método Pavement Condition Index (PCI).

La evaluación se realiza en una vía de prueba formada por pavimento flexible, donde se releva la información empleando el método tradicional y el método VANT propuesta en la presente tesis. Los resultados que se obtienen demuestran que el método VANT recoge datos de manera más segura, mejora los rendimientos, permite planos de mayor información con valores fidedignos en comparación del método tradicional y evita accidentes del personal técnico, especialmente en vías urbanas.

La tesis innova un procedimiento para evaluar pavimentos, periódicamente con fines de conservación de las vías, optimizando los escasos recursos de los gobiernos municipales con beneficio de los usuarios.

## ABSTRACT

The present research develops an alternative methodology for the superficial evaluation of pavements using georeferenced images obtained from an unmanned aerial vehicle (UAV), which are processed generating an orthophoto and a high-resolution 3D modeling. The analysis of this model allows the total inspection of the road safely, identifying the type of deterioration, its severity and the damaged density, as parameters and inputs to use the Pavement Condition Index (PCI) method.

The evaluation is performed on a test track flexible pavement, where information is relieved using the traditional method and the UAV method proposed in this thesis. The results obtained show that the UAN method collects data more safely, improves yields, allows higher information plans with reliable values compared to the traditional method and avoids accidents of technical personnel, especially in urban roads.

The thesis innovates a procedure to evaluate pavements, periodically for the conservation of the roads, optimizing the scarce resources of the municipal governments with the benefit of the users.

## PRÓLOGO

El autor de la presente tesis, el Sr. Bachiller Jorge Cruz, propicia la apertura un nuevo paradigma de la evaluación tradicional de las fallas que ocurren en las superficies de vías, especialmente pavimentos. Se ha innovado un proceso que emplea drones para agilizar la labor de evaluación del deterioro de las vías sin poner en riesgo la vida humana, por tráfico desordenado que congestiona la zona urbana.

En la búsqueda del estado del arte de los trabajos vinculados a la elección de la presente tesis, se comprobó que es poco los procesos que emplean drones permitiendo innovar a la especialidad con aplicación de nueva tecnología.

El trabajo evidencia una realidad que afrontamos cada día. Las vías urbanas de las principales ciudades del país se encuentran saturadas de vehículos que dificultan las labores de relevamiento de fallas con fines de su mantenimiento. Los Gobiernos Municipales no logran efectuar la adecuada proyección de trabajos de mantenimiento de pistas y menos presupuestarlas y gestionarla. Por ello los usuarios ven incrementado sus costos de operación de los vehículos. Las Municipalidades al no contar con información sobre el estado de deterioro de las vías, optan por tratamientos superficiales de poca duración, sin el sustento para abordar la real problemática.

La presente evaluación superficial del pavimento, permite determinar la condición operacional de la superficie de rodadura; y con esta información, planificar trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación necesarios para mejorar la transitabilidad.

Parte de la presente tesis, ha permitido dos ponencias en Congresos y un premio en el CONEIC llevado a cabo en la ciudad de Cusco, ya que propone una metodología alternativa de evaluación de la superficie de los pavimentos con vehículos aéreos no tripulados (VANT) o dron.

Se espera motivar nuevas investigaciones para metodología alternativa para la evaluación superficial de pavimentos, empleando imágenes georreferenciadas, obtenidas de un vehículo aéreo no tripulado (VANT), que se procesan generando una ortofoto y un modelamiento en 3D de alta resolución, permitiendo el análisis por el método Pavement Condition Index (PCI), pudiendo asegurar a las inversiones que efectúa el Estado.

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 2.1 Tipo de Condición según la calificación de condición.....	22
Tabla 2.2 Unidades de muestreo según el tipo de pavimento.....	25
Tabla 2.3 Rango del PCI y tipo de mantenimiento .....	30
Tabla 2.4 Catalogo de Fallas del pavimento flexible para el método PCI.....	31
Tabla 4.1 Unidades de muestreo.....	51
Tabla 4.2 Valores deducidos corregidos .....	59
Tabla 4.3 Resultados de PCI en unidades de muestra .....	60
Tabla 5.1 Resultados método PCI y VANT .....	72

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura N° 2.1 Sección típica de un Pavimento Flexible .....	17
Figura N° 2.2 Curva típica de la vida de un pavimento.....	19
Figura N° 2.3 Condición de superficie y actividades de Mantenimiento .....	21
Figura N° 2.4 Tipo de Conservación según calificación de condición .....	22
Figura N° 2.5 Escala de clasificación del PCI .....	23
Figura N° 2.6 Hoja de inspección .....	24
Figura N° 2.7 Distribución normal al 95% de intervalo de confianza.....	28
Figura N° 2.8 Curva de corrección para Pavimento de asfalto.....	28
Figura N° 2.9 RQ-1 Predator .....	32
Figura N° 2.10 Aeronave de ala fija .....	34
Figura N° 2.11 Ala rotatoria o multirrotor.....	35
Figura N° 2.12 Configuraciones de multirrotores .....	35
Figura N° 2.13 Vehículo aéreo no tripulado Hibrido .....	36
Figura N° 2.14 Nuevas aplicaciones de los drones en ámbitos urbanos .....	38
Figura N° 3.1 Flujo de trabajo método VANT .....	39
Figura N° 3.2 DJI Phantom 4 pro .....	40
Figura N° 3.3 Interfaz DJI GS Pro .....	41
Figura N° 3.4 Parámetros de vuelo en DJI GS Pro .....	41
Figura N° 3.5 Ejecución del vuelo en zona de despegue .....	42
Figura N° 3.6 Monitoreo del vuelo en tiempo real.....	43
Figura N° 3.7 Creación de nuevo proyecto en Pix4d Mapper .....	44
Figura N° 3.8 Procesamiento inicial .....	44
Figura N° 3.9 Creación de nube de puntos densa .....	45
Figura N° 3.10 Modelo digital 3D.....	45
Figura N° 3.11 Ortofoto de la zona de estudio .....	46
Figura N° 3.12 Modelo digital de Superficie MDS.....	46

Figura N° 3.13 Ortofoto con tránsito.....	47
Figura N° 3.14 Ortofoto editada.....	47
Figura N° 3.15 Identificación de fallas, severidad y metrado.....	48
Figura N° 4.1 Ubicación de la vía.....	49
Figura N° 4.2 Vía de pavimento flexible.....	49
Figura N° 4.3 Plano de zonificación del distrito de Ate.....	50
Figura N° 4.4 Transito de la vía.....	50
Figura N° 4.5 Unidades de muestreo.....	52
Figura N° 4.6 Unidades de muestra a inspeccionar.....	52
Figura N° 4.7 Hojas de inspección y catálogo de fallas.....	53
Figura N° 4.8 Elementos de seguridad.....	53
Figura N° 4.9 Inspección en campo.....	54
Figura N° 4.10 Piel de cocodrilo.....	54
Figura N° 4.11 Huecos.....	55
Figura N° 4.12 Parcheo.....	55
Figura N° 4.13 Grietas longitudinales y transversales.....	55
Figura N° 4.14 Hoja de inspección UM03.....	57
Figura N° 4.15 Curva valor deducido para Parcheo.....	58
Figura N° 4.16 Curva valor deducido corregido.....	59
Figura N° 4.17 Plan de vuelo A1.....	61
Figura N° 4.18 Plan de vuelo A2.....	61
Figura N° 4.19 Ejecución de vuelo en vía de prueba.....	62
Figura N° 4.20 Opciones de procesamiento.....	62
Figura N° 4.21 Procesamiento inicial.....	63
Figura N° 4.22 Nube de puntos densa de la vía de prueba.....	63
Figura N° 4.23 Modelo digital 3D de la vía.....	64
Figura N° 4.24 Detalles del modelo digital de la vía.....	64
Figura N° 4.25 Proceso de edición de obstáculos.....	65



Figura N° 4.26 Edición de la ortofoto .....	65
Figura N° 4.27 Modelo digital de superficie .....	65
Figura N° 4.28 Falla piel de cocodrilo .....	66
Figura N° 4.29 Falla Parcheo .....	66
Figura N° 4.30 Falla Huecos.....	67
Figura N° 4.31 Fallas en la vía .....	67
Figura N° 4.32 Fallas en la vía .....	68
Figura N° 4.33 Mapa general del estado de la vía.....	70
Figura N° 4.34 Perfil del PCI en vía de estudio.....	71

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

<b>ASTM</b>	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
<b>CONREVIAl</b>	Consortio de Rehabilitación Vial
<b>DJI GS PRO</b>	DJI Ground Station Pro
<b>GLONASS</b>	Sistema Global de Navegación por Satélite
<b>GSD</b>	Ground Sample Distance
<b>HMA</b>	Mezcla Asfáltica en caliente
<b>MDS</b>	Modelo Digital de Superficie
<b>MTC</b>	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
<b>PASER</b>	Pavement Surface Evaluation and Rating
<b>PCI</b>	Índice de Condición del Pavimento
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle
<b>UM</b>	Unidad de muestra
<b>USACE</b>	Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos
<b>VANT</b>	Vehículo Aéreo No Tripulado
<b>VD</b>	Valor de deducción
<b>VDC</b>	Valor de deducción corregido
<b>VDT</b>	Valor de deducción total

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

Las vías urbanas de las principales ciudades del país se encuentran saturadas de vehículos que dificultan los trabajos de mantenimiento que se realizan con urgencia, debido a su mal estado. Por ello los usuarios ven incrementado sus costos de operación los vehículos debido a la falta de gestión, por parte de los municipios, para el mantenimiento de la infraestructura vial. Las Municipalidades al no contar con información sobre el estado de deterioro de las vías, optan por tratamientos superficiales de poca duración y reiterativos, sin un sustento más profundo para atacar la problemática.

La evaluación superficial del pavimento, permite determinar la condición operacional de la superficie de rodadura; y con esta información, planificar los trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación necesarios para mejorar la transitabilidad. Los métodos empleados actualmente para realizar la inspección de campo, se ven disminuidos en su rendimiento ante la gran congestión de vehículos que obstaculizan el trabajo técnico. Además, requieren de mucho personal que supervisen la seguridad de sus trabajadores, elevando su costo. Debido a estas dificultades se hace necesario el uso de técnicas modernas, de costo razonablemente bajo, pero de seguimiento sistemático de la degradación de las condiciones superficiales del pavimento optimizando los recursos de los gobiernos municipales.

La presente tesis, al proponer una metodología alternativa de evaluación de la superficie de los pavimentos con vehículos aéreos no tripulados (VANT), la divide en cinco capítulos, resumidos a continuación:

El Capítulo I, Introducción, presenta los antecedentes, explica la problemática, realiza la justificación, define los objetivos y establece la metodología de trabajo a seguir.

El Capítulo II, Fundamento Teórico, aborda todos aquellos que es necesario definir para comprender ampliamente lo desarrollado en la tesis, como métodos, metodologías, recursos humanos y materiales, entre otros.

El Capítulo III, desarrolla el método VANT paso a paso, explicando el planeamiento del vuelo, procesamiento de la información e inspección de la superficie del pavimento.

El Capítulo IV, presenta los resultados obtenidos en la evaluación en un tramo de prueba, aplicando ambos métodos, el tradicional y el VANT.

Finalmente el Capítulo V, presenta la discusión acerca de los resultados obtenidos, priorizando las conclusiones y recomendaciones más relevantes del trabajo.

## 1.1 ANTECEDENTES

En la búsqueda del estado del arte de los trabajos vinculados a la elección de la presente tesis, se comprobó que es poco lo desarrollado en esta especialidad, lo que ha permitido innovar para nuestra realidad, la aplicación de nueva tecnología.

Los trabajos realizados para la mejora de procedimientos de evaluación superficial, son variados, pero siempre en tierra. Vásquez Palma V. E. y Chamorro Castillo P. S. (2005), Chile, presentaron una tesis denominada “Implementación de un SIG para la administración de Pavimentos Aeroportuarios a través de la aplicación de un Índice de Condición de Pavimentos” que se enfocó en la importancia de contar con un sistema de información geográfica, en la Dirección de Aeropuertos (DAP) del Ministerio de Obras Públicas de Chile, para la gestión y administración de los pavimentos aeroportuarios a través de la aplicación del Método Pavement Condition Index (PCI). Se empleó el programa MicroPaver para determinar el índice de condición del pavimento del Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez y luego exportar los resultados a un sistema de información geográfica que permita analizar los datos obtenidos para optimizar y mejorar los trabajos de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. Los resultados demostraron la eficiencia del sistema generado, representando una herramienta efectiva para la gestión y administración de pavimentos aeroportuarios, mediante la visualización de la información, tanto en forma de registros como de mapas, constituyéndolo en un instrumento eficaz de análisis para predecir su condición futura e, identificar los trabajos requeridos, así como priorizar proyectos para el mantenimiento y reparación en las primeras etapas de deterioro.

Por otro lado, el trabajo presentado por Chunsun Zhang y Ahmed Elaksher (2012), “An unmanned aerial vehicle-based imaging system for 3D measurement of unpaved road surface distresses” introduce un innovador sistema de imagen digital empleando un vehículo aéreo no tripulado (UAV), que recolecta datos sobre las condiciones de superficie de caminos rurales de Estados Unidos. El sistema

consiste en un equipo de bajo costo modelo helicóptero, equipado con una cámara digital, receptor GPS, sistema de navegación y sensor magnético que adquiere la información mediante un software de autopiloto. Un vuelo a una altura de 45 metros, obtiene imágenes a una resolución de 5mm x pixel, que luego son procesadas mediante un algoritmo para generar el modelo en 3D de la superficie que mide los deterioros. Los resultados muestran buena precisión y confiabilidad, obteniendo diferencias de 0.5 cm con respecto a las mediciones en campo.

En estudio de Bernaola Chuquillanqui R. J. (2014) “Evaluación y determinación del Índice de Condición del Pavimento Rígido en la Av. Huancavelica, distrito de Chilca, Huancayo”, en uno de los capítulos evalúa 340 unidades de inspección para determinar las fallas existentes, determinando índices de PCI variables, mostrando los rendimientos alcanzados.

El estudio Leguía Loarte P. B. y Pacheco Risco H. F. (2016) “Evaluación Superficial del pavimento flexible por el Método Pavement Condition Index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colon y Miguel Grau – Huacho – Huaura - Lima”, permitió determinar las políticas y estrategias de intervención, analizando más de 3000 metros lineales de pavimento e identificando los tipos de falla existentes, para luego cuantificar su estado, 14 tipos diferentes de fallas con distintas severidades.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Los municipios al no contar con información actualizada del deterioro de sus vías, les impide elaborar el plan operativo de trabajos de mantenimiento anual y de una adecuada gestión.

La falta de una evaluación superficial o relevamiento de las fallas en los pavimentos, impide realizar una racional planificación de trabajos correctivos, improvisando medidas correctivas que son inadecuadas. Además, la falta de políticas de inversión y de estrategias de mantenimiento de las vías, permiten el deterioro acelerado de la superficie de rodadura y la protesta de los usuarios.

El tiempo invertido en los trabajos de evaluación de las vías, en las zonas urbanas, se incrementa y dificulta por el intenso y desordenado tráfico de la ciudad, poniendo en riesgo la vida de los evaluadores o controladores.

¿Por lo tanto, como mejorar los rendimientos en la evaluación superficial de pavimentos mediante el método PCI para la gestión de vías urbanas?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Todos los gobiernos municipales deben contar con un sistema adecuado de gestión de pavimentos de las vías urbanas que les permita planificar, programar, priorizar y presupuestar su mantenimiento o rehabilitación, optimizando los recursos disponibles y evitando riesgos del personal empleado.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 Objetivo General**

- Calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI) en vías urbanas, empleando las imágenes obtenidas con Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT)

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Registrar el estado del pavimento mediante imágenes georreferenciadas obtenidas del vehículo aéreo no tripulado.
- Evaluar las áreas afectadas con un determinado tipo de falla en función de su densidad y severidad, empleando el método del Pavement Condition Index (PCI).
- Determinar las ventajas y desventajas de aplicar la inspección empleando un VANT y el método tradicional del PCI, aplicados en una zona de prueba.

### **1.5 HIPÓTESIS**

#### **1.5.1 Hipótesis General**

- Empleando vehículos aéreos no tripulados (VANT) se podrá realizar eficazmente el inventario y metrado de fallas de las vías urbanas mejorando los rendimientos en el proceso del método tradicional PCI y de las actividades de gestión.

### **1.6 METODOLOGÍA**

#### **1.6.1 Enfoque y tipo de investigación**

La investigación es de tipo aplicada ya que tiene como objetivo conocer el estado de conservación de la vía y descriptiva ya que tiene por finalidad detallar los hechos tal como son observados, en este caso el análisis visual en las vías en

estudio; dado que gracias a ello obtendremos la mejor alternativa de mantenimiento a realizarse en las vías.

El tipo de investigación es de enfoque mixto ya que abarca dos tipos: cualitativo y cuantitativo. Es cualitativa porque para el cálculo del PCI obtendremos resultados descriptivos como excelente, muy bueno, bueno, regular, pobre, muy pobre y fallado; por otro lado, es también cuantitativa porque el resultado que proporcione el índice PCI tendrá 7 escalas numéricas que van desde el 0 hasta el 100.

### **1.6.2 Diseño de la investigación**

La metodología de trabajo consiste en el desarrollo de las etapas siguientes:

- Recopilar información necesaria existente referido al Método del PCI (Pavement Index Condition), a su uso y procedimiento de levantamiento de información de vehículos aéreos no tripulados (VANT).
- Escoger la zona de prueba, la cual se evaluará superficialmente obteniendo el inventario de fallas así como del índice de condición del pavimento. El levantamiento de información se realizará con un vehículo aéreo no tripulado de la marca DJI, modelo Phantom 4 Pro, adquirido con recursos propios del tesista y permitirá la obtención de imágenes georreferenciadas.
- Planear la misión de vuelo mediante la aplicación DJI Ground Station Pro, instalado en un dispositivo Ipad Mini 4 de la marca Apple, también adquirido por el tesista para la realización del presente proyecto.
- Procesar imágenes empleando el software Pix4dMapper Pro, con salida en modelo digital de superficie en 3D y el ortomosaico para proceder a la inspección de la vía y contrastar con los metrados obtenidos al Método PCI.
- Analizar los rendimientos empleando el VANT y el método tradicional del PCI.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

El pavimento es una estructura que descansa sobre el terreno de subrasante, que permite absorber y distribuir los esfuerzos provenientes de los vehículos. Estas estructuras deben brindar seguridad y comodidad para el usuario. Por lo general la estructura se compone de capas de subbase, base y rodadura [18].

El tipo de pavimento se clasifica según la función a desempeñar y los esfuerzos que lo afectarán durante el tiempo de servicio.

La estructura de pavimento debe ser resistente a la acción de cargas impuestas por el tránsito, resistente ante los agentes de intemperismo, presentar una textura superficial adaptable a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, presentar regularidad superficial, debe ser durable, económico, pero sobre todo debe ofrecer una adecuada seguridad al tránsito [6].

#### 2.1.1 Pavimentos Flexibles

Están compuestos por una o varias capas de mezcla asfáltica en caliente (HMA), o por tratamientos superficiales, apoyadas sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados (base, subbase, afirmado y en algunos casos subrasante mejorada) que se sustentan sobre el terreno natural o subrasante. La figura 2.1 muestra la sección transversal típica de un pavimento flexible.

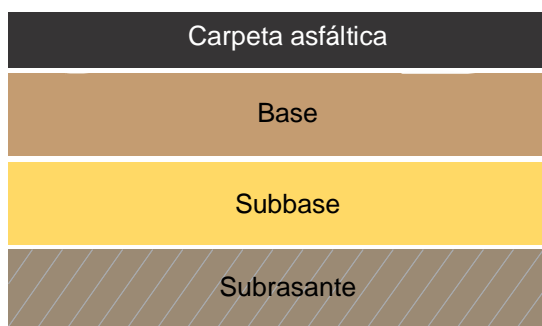


Figura N° 2.1 Sección típica de un Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia



La carpeta asfáltica está compuesta de materiales granulares (agregado pétreo) seleccionados, ligados con un material asfáltico. Los agregados pétreos presentan granulometría y requisitos mínimos de calidad y exigencias según la capa que constituye la carpeta asfáltica cumple con las demandas, funcional y estructural, tal como se detalla a continuación:

- **Funcional:** esta capa recibe de manera directa las cargas que circulan sobre la superficie del pavimento; por lo tanto, debe estar diseñada y construida para que permita la circulación cómoda de los vehículos durante la vida útil o tiempo de servicio.
- **Estructural:** esta capa debe estar diseñada y construida de tal forma que sea resistente a los fenómenos de fatiga y acumulación de las deformaciones permanentes inducidas por las cargas cíclicas vehiculares que se repiten en el tiempo.

### 2.1.2 Comportamiento de los Pavimentos

Los pavimentos son estructuras diseñadas para que falle luego de un periodo específico, expuesto a cargas, y por falla funcional.

La falla funcional es generalmente definida como la incapacidad del pavimento para proveer una superficie que permita un rodaje confortable, seguro y económico de los vehículos. Los modos de deterioro de falla son normalmente: asociados o no a las cargas. El deterioro depende de la interacción de parámetros como: La estructura del pavimento, incluyendo la subrasante

- Estructura del pavimento y subrasante
- Volumen de tráfico y tipo de cargas
- Medio ambiente y funcionamiento del drenaje
- Políticas de mantenimiento aplicadas

Las fallas son producidas por el medio ambiente y condiciones atmosféricas, tiempo, calidad de construcción y/o materiales y problemas especiales, tales como: temperatura y humedad, características especiales de los suelos, materiales y diseños inadecuados de ingeniería [12].

En cuanto a la falla estructural, está asociada a la capacidad de carga del pavimento y a la fatiga de la estructura. Las cargas son inducidas por el tráfico a la estructura del pavimento. De acuerdo con algunos autores, los tipos de falla del pavimento son:

- Agrietamiento por cargas (fatiga)
- Deformación permanente por cargas (ahuellamiento)
- Agrietamiento por contracción (termo-fractura)
- Deformaciones y grietas no producidas por cargas
- Disgregación y desintegración

En una política efectiva de Mantenimiento y Rehabilitación, los pavimentos pueden mostrar distintas relaciones deterioro-tiempo según la combinación de los factores involucrados en el mecanismo de falla. La figura 2.2 muestra una curva típica de la vida de un pavimento, en la que se distinguen tres puntos de especial importancia, la cuales son:

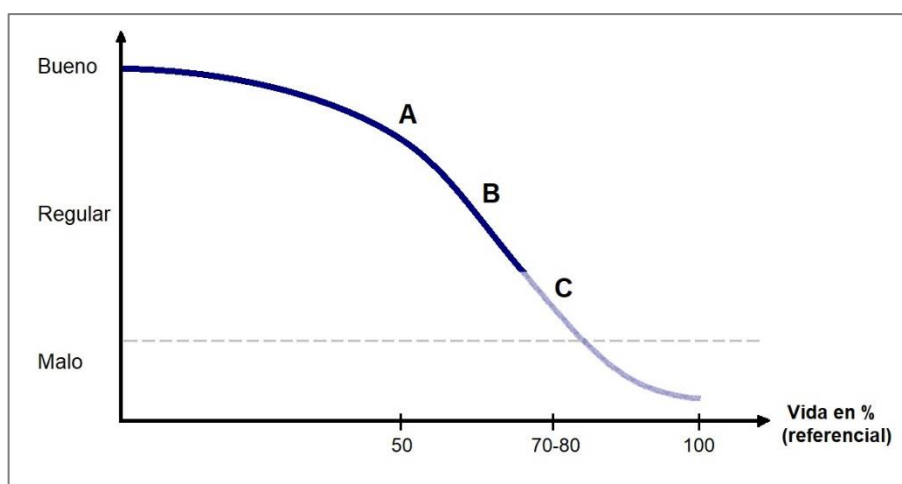


Figura N° 2.2 Curva típica de la vida de un pavimento

Fuente: Elaboración propia

- **Punto A:** El pavimento comienza a mostrar síntomas menores de deterioro que requieren el inicio de labores de mantenimiento menor.
- **Punto B:** El porcentaje de deterioro comienza a crecer, puede requerirse algún tipo de acción mayor. Este punto está dentro de la zona denominada “óptima de rehabilitación”, con inversiones relativamente pequeñas producen grandes beneficios. La estructura del pavimento y su calidad de rodaje se han deteriorado severamente, el pavimento aún conserva buena

parte de su resistencia original, donde una adecuada acción de rehabilitación mejorará considerablemente su condición alargando su vida de servicio.

- **Punto C:** La condición del pavimento se encuentra en un estado deficiente, tanto funcional como estructural. En este punto, se requieren costosos trabajos de mantenimiento mayor de rehabilitación.

Desde la puesta en servicio del pavimento y el punto “B”, se presenta una reducción aproximada del 40% de su calidad, y de 75% de la vida esperada del pavimento, en términos de repeticiones de cargas o periodo de diseño. Desde el punto “B”, en un 15 – 20% del tiempo de diseño, se produce una reducción adicional del 40% en calidad, debido al rápido incremento del deterioro, por acción del tráfico sobre una estructura menos resistente y envejecida.

## 2.2 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

Los recursos para el mantenimiento y reparación de carreteras pueden ser administrados eficientemente. El dinero debe ser invertido en el momento y lugar correcto, mejor aún si se conoce las condiciones actuales de la estructura y su velocidad de deterioro calculado a partir de las inspecciones efectuadas al pavimento y de las evaluaciones de su condición y comportamiento.

La evaluación tiene como objetivo el análisis del estado situacional de la superficie y de la estructura del pavimento; de esta manera se logran las acciones adecuadas de conservación y mantenimiento, que permiten prolongar la vida útil.

### 2.2.1 Evaluación Superficial

La evaluación superficial o funcional del pavimento, tiene por objetivo, reconocer las deficiencias relacionadas a la calidad de la superficie y al estado general de las condiciones del pavimento. Se consideran todos aquellos factores que afectan negativamente la serviciabilidad, seguridad y el costo del usuario.

Los métodos de relevamiento de fallas, se realizan visualmente y por contraste con catálogos propuestos por diferentes instituciones internacionales. Desde los años 90, se aplica el método recomendado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), cuyas evaluaciones proporcionan resultados cualitativos y cuantitativos.

La investigación tratará exclusivamente el método del PCI, que se explicará mas adelante, sin embargo cabe mencionar que el método del consorcio de Rehabilitación Vial (CONREVIAl), se empleó por muchos años, el cual tiene la limitación que no llega a un indicador final de la condición global del pavimento; no considera las áreas afectadas con un determinado tipo de deterioro, razón por la cual los resultados del relevamiento de fallas no son confiables y no se alcanza la precisión que corresponde para estimar el costo de mantenimiento y presupuesto de obra. El método Pavement Surface Evaluation and Rating (PASER), desarrollado en el Centro de Información del Transporte de la Universidad de Winsconsin, presenta un catálogo de fallas basado en una escala gráfica con categorías que varían de 1 a 10, pero no considera escalas intermedias que permita mayor sensibilidad para calificar la superficie dañada.

PASER establece una relación de degradación asociada a la actividad correctiva. La figura 2.3 muestra la curva de degradación y las actividades recomendadas para mejorar sus condiciones.



Figura N° 2.3 Condición de superficie y actividades de Mantenimiento

Fuente: Manual PASER, Sealcoat Roads, Universidad de Wisconsin, 2013

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) desarrolló en el 2014, el Manual de Mantenimiento o Conservación Vial, donde introduce un Inventario de Condición con el objetivo de preparar inventarios detallados para establecer el estado actual de la vía y las medidas a realizar en lo que respecta a las actividades de conservación, tanto para carreteras con pavimento flexible, pavimento de concreto hidráulico y carreteras no pavimentadas. El catálogo identifica tipo de deterioro, gravedad y extensión de cada falla encontrada en secciones de 200 m.,

y otorga un puntaje de deterioro no mayor a 1000, donde la condición se muestra en la tabla 2.1 y el tipo de conservación o medida correctiva, en la figura 2.4.

Tabla 2.1 Tipo de Condición según la calificación de condición

CONDICIÓN BUENO	> 800
CONDICIÓN REGULAR	> 300 y ≤ 800
CONDICIÓN MALO	≤ 300

Fuente: Manual de Mantenimiento o Conservación Vial, MTC.



Figura N° 2.4 Tipo de Conservación según calificación de condición

Fuente: Manual de Mantenimiento o Conservación Vial, MTC 2014

## 2.3 METODO PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)

### 2.3.1 Antecedentes

El método PCI fue desarrollado por M. Y. Shahim y S.D. Khon y publicado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1978. El método permite evaluar la condición estructural y de superficie (operacional) en una sección de pavimento, con fines de determinar actividades de mantenimiento y reparación. Además, determina el comportamiento de la estructura mediante evaluación continua del PCI a lo largo del tiempo [10].

Es la metodología más completa para la evaluación de pavimentos flexibles y rígidos, ya que no requiere de herramientas especializadas para la evaluación y calificación de los pavimentos, siendo adoptado por la ASTM como Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos (ASTM D6433-03).

El método consiste en la determinación del índice de condición del pavimento a través de inspecciones visuales, basándose en un catálogo de 19 tipos de fallas, identificando el tipo, severidad y densidad de cada falla presente. Además, introduce un factor de ponderación llamado valor deducido (VD), el cual indica el grado de afectación de cada combinación deterioro, severidad y cantidad.

La primera aplicación en el Perú la realizó el Ing. W. Gutiérrez Lazares, en el año 1990, en contrato por servicios para la entonces Unidad Ejecutora de Proyecto (UEP) y para evaluar los puntos críticos de la carretera Panamericana Sur, hasta La Concordia. La aplicación del método PCI proporcionó resultados tan cercanos a la realidad que no hubo mayores adicionales en los trabajos de mantenimiento ejecutados por el contratista, validando su operatividad. La evaluación se puede realizar con grupo de dos personas y en número tal que cada uno de los grupos evalúen un promedio de cinco kilómetros.

Cabe anotar que esta metodología proporciona metrados más cercanos a la realidad y que en un trabajo paralelo, con varias brigadas, no demanda tanto tiempo dicha evaluación. También permite el procesamiento computarizado de las fallas relevadas y finalmente información fidedigna para los profesionales de la especialidad de costos presupuestos.

### 2.3.2 Clasificación del Índice de Condición del Pavimento

El PCI es un índice numérico que califica la condición de pavimento en base a una escala que varía entre (0) para un pavimento fallado, hasta (100) para un pavimento en perfecto estado como se observa en la figura 2.5.

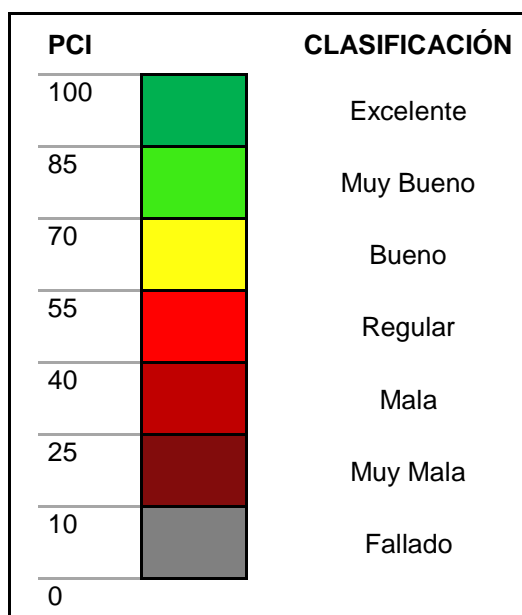


Figura N° 2.5 Escala de clasificación del PCI

Fuente: ASTM D6433-16



### 2.3.4 Unidades de relevamiento

Se divide la vía en secciones o unidades de muestreo, cuyas dimensiones varían como se muestra a continuación:

- Superficies de rodadura asfáltica, de ancho menor que 8 m, requiere que la unidad de muestreo esté en el rango de  $225 \pm 90 \text{ m}^2$ .

Se recomienda tomar un valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos. La tabla 2.2 muestra un cuadro resumen de las unidades de muestro de acuerdo al tipo de pavimento.

Tabla 2.2 Unidades de muestreo según el tipo de pavimento

Tipo de Pavimento	Tamaño de la Muestra		
	Mínimo	Ideal	Máximo
Flexible	135 m <sup>2</sup>	225 m <sup>2</sup>	315 m <sup>2</sup>
Compuesto (Pavimento rígido con refuerzo de pavimento flexible)			

Fuente: ASTM D6433-16

Las unidades de muestra deben ser marcadas o identificadas de tal forma que permita la verificación o su reproducibilidad para examinar cambios en la condición en las futuras inspecciones. El número de muestra a ser inspeccionadas debe garantizar un nivel de confianza mayor o igual a 95%.

Según Moncada Jiménez (2005), para tener un nivel de confianza de 95%, se debe tener una muestra mayor 30, asimismo se trabaja con un valor de  $\alpha$  del 5%, que corresponde a un valor de Z (distribución normal) de 1.96, como se aprecia en la figura 2.7.

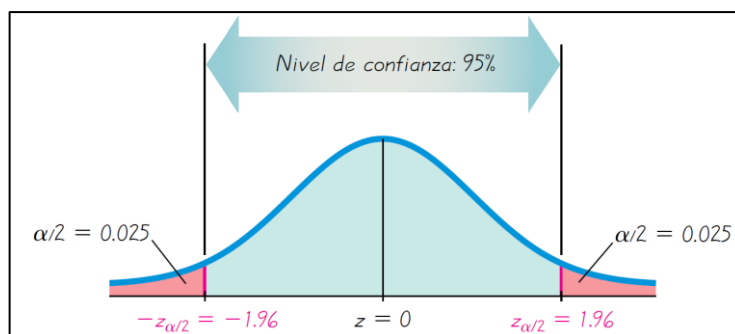


Figura N° 2.7 Distribución normal al 95% de intervalo de confianza



El método puede contemplar un plan de muestreo estadístico para determinar el PCI mediante inspección de una muestra de la sección sin producir pérdida significativa de precisión.

El número mínimo de unidades de muestra a ser evaluadas ( $n$ ) en una determinada sección, para obtener un nivel de confianza del 95% del PCI, se determina mediante la ecuación siguiente:

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

Donde:

$n$ : Número de unidades de muestra a evaluar

$N$ : Número total de unidades de muestra en la sección (mín. 5 unidades)

$e$ : Error admisible en el estimado del PCI de la sección ( $e = \pm 5$  puntos del PCI)

$\sigma$ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

La norma ASTM D4633 indica que durante la inspección inicial se asume una desviación estándar ( $\sigma$ ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico y de 15 para pavimento de concreto. Esta suposición debe ser verificada posteriormente una vez se han determinado los valores del PCI, calculando la desviación estándar real. Luego se calcula el número de unidades de muestra necesarias, si el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas es mayor a las ya inspeccionadas, seleccionar e inspeccionar aleatoriamente unidades de muestra adicionales. Para inspecciones posteriores se adopta el valor de desviación estándar de la inspección anterior en la determinación de  $n$ .

Una vez que el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas este definido, se calcula el intervalo de espaciamiento de las unidades utilizando el muestreo sistemático al azar. Las muestras deben ser igualmente espaciadas a través de toda la sección seleccionando la primera muestra al azar.

### 2.3.5 Estrategia de inspección

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se recorre la vía identificando los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los

mismos en cada unidad de muestreo. Esta información se registra en los formatos de inspección para pavimento asfáltico registrando el tramo, número de sección y tipo de unidad de muestra.

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 como para el personal de la vía.

### **2.3.6 Cálculo del PCI de la unidad de muestra**

Al culminar la inspección de campo, se procede a calcular el PCI con la información relevada, empleando los “Valores Deducidos” para cada tipo de combinación tipo de daño, severidad. El procedimiento de cálculo se divide en las siguientes etapas:

#### **Etapas 1.** Calculo de los Valores Deducidos (VD)

- a. Se totaliza cada tipo y nivel de severidad de daño y se registra en las columnas dadas en el formato. El deterioro puede medirse en longitud, área o según su tipo.
- b. Se divide la cantidad de cada clase de daño y su nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y se expresa el resultado en porcentaje. Este será la densidad de cada daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- c. Se determina el valor deducido para cada tipo de daño y nivel de severidad mediante las curvas denominadas “valor deducido de daño” que se adjuntan en el anexo.

#### **Etapas 2.** Cálculo del Número admisible de valores deducidos (m)

- a. Si ninguno o tan solo uno de los valores deducidos es mayor que 2, se usa el valor deducido total en lugar del mayor valor deducido corregido (VDC), caso contrario se siguen los siguientes pasos.
- b. Ordenar los valores deducidos individuales de mayor a menor
- c. Determine el número máximo de valores deducidos (m), utilizando la siguiente ecuación:

$$m_i = 1 + \frac{9}{98} (100 - \text{MaxVD}_i)$$

Donde:

$m_i$ : Número máximo admisible de valores deducidos, incluyendo fracción para la unidad de muestreo  $i$ .

$\text{MaxVD}_i$ : El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo  $i$ .

### Etapa 3. Cálculo del máximo valor corregido (VDC)

Para determinar el máximo VDC se debe seguir un proceso de iteración:

- Determinar el número de valores deducidos ( $q$ ) mayores que 2
- Determinar el valor deducido total (VDT) sumando todos los valores deducidos individuales.
- Determinar VDC en función del valor  $q$  y el VDT, empleando la curva de corrección de acuerdo al tipo de pavimento que se observa en la figura 2.8.
- Reducir el menor de los valores deducidos individuales a 2, para luego sumar y hallar el nuevo VDT. Se repite el procedimiento hasta que  $q=1$
- El máximo VDC será el mayor de los VDC obtenidos en este proceso.

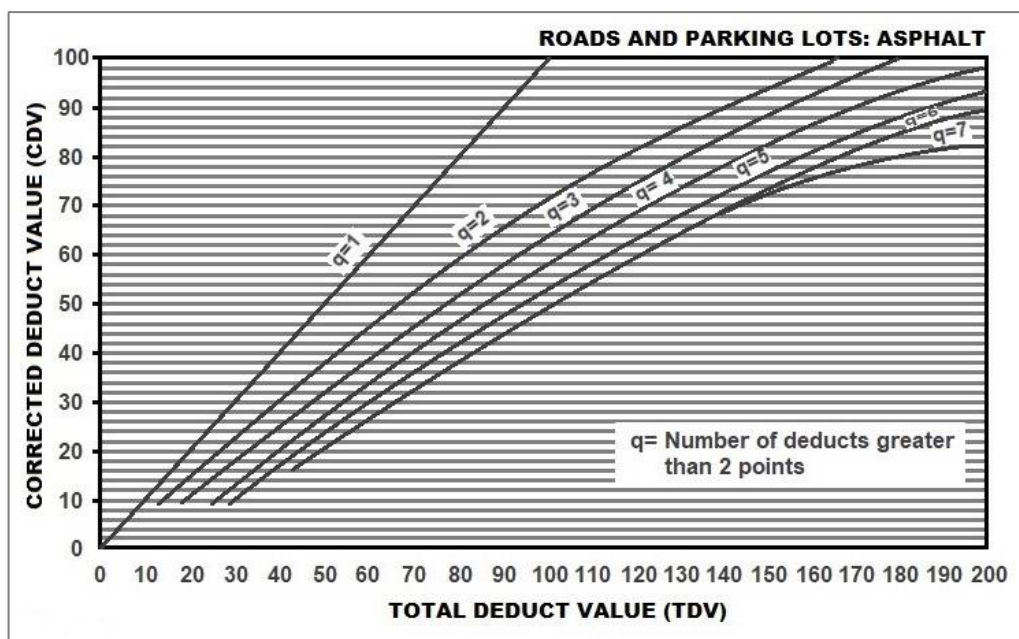


Figura N° 2.8 Curva de corrección para Pavimento de asfalto

Fuente: ASTM D6433-16

#### Etapa 4. Cálculo del PCI

Se calcula el PCI de la unidad mediante la siguiente ecuación:

$$PCI = 100 - maxVDC$$

Donde:

PCI: Índice de condición del pavimento

maxVDC: Máximo valor corregido deducido

#### 2.3.7 Cálculo del PCI de una sección del pavimento

Si todas las unidades de muestreo son inventariadas o si todas las unidades de muestra evaluadas son escogidas de manera aleatoria, el PCI de la sección será el ponderado de los PCI calculados en las unidades según su área, como indica la siguiente ecuación:

$$PCI_S = \frac{\sum_1^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_1^n A_{ri}}$$

Si hay unidades de muestra adicionales que han sido inspeccionadas, entonces el PCI de la sección del pavimento es calculado de esta manera:

$$PCI_S = \frac{PCI_r(A - \sum_1^n A_{ai}) + PCI_a(\sum_1^n A_{ai})}{A}$$

Donde:

PCI<sub>s</sub>: PCI de la sección del pavimento

PCI<sub>ai</sub>: PCI de la unidad de muestra adicional "i"

PCI<sub>ri</sub>: PCI promedio de las unidades de muestra aleatoria "i"

A<sub>ri</sub>: Área de la unidad de muestra aleatoria "i"

A<sub>ai</sub>: Área de la unidad de muestra adicional "i"

n= número de unidades de muestra aleatoria inspeccionadas








m= número de unidades de muestra adicionales inspeccionadas

### 2.3.8 Interpretación del PCI

El método PCI, según recomendaciones de la USACE, no requiere de la evaluación total de la vía. Debido a sus carreteras de buena serviciabilidad, se considera implícitamente que son carreteras estructuralmente homogéneas, construida y mantenida adecuadamente y, por lo tanto, la elección del sector a evaluar es tan representativo como cualquier otro. En cambio, para las condiciones de las carreteras del Perú, es recomendable evaluar la totalidad del área superficial de la carretera en estudio, es decir todo el ancho de la plataforma por toda la longitud. De esta manera, se evita perder información importante para la determinación del presupuesto de mantenimiento de obra.

El Índice de condición de pavimento no sólo nos indica el estado actual de la vía, también nos proporciona los metrados para definir las actividades de mantenimiento y/o rehabilitación. La tabla 2.3 relaciona los rangos del PCI de un pavimento flexible con el tipo de acción a realizar.

Tabla 2.3 Rango del PCI y tipo de mantenimiento

RANGO DEL PCI	COLOR	TIPO DE MANTENIMIENTO
86 - 100 EXCELENTE		MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PREVENTIVO
71-85 MUY BUENO		(Sello de fisuras, parches, lechadas asfálticas)
56 - 70 BUENO		MANTENIMIENTO CORRECTIVO
41 - 55 REGULAR		(Recapado)
26 - 40 POBRE		REHABILITACIÓN MAYOR (Reemplazo de carpeta asfáltica)
11 - 25 MUY POBRE		RECONSTRUCCIÓN (Reemplazo base granular y carpeta asfáltica)
0 - 10 FALLADO		

Fuente: ASTM D6433-16

### 2.3.9 Catálogo de fallas en pavimentos Flexibles

El procedimiento estándar para la inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamiento ASTM D6433 establece 19 tipos de fallas para el pavimento flexible. La tabla 2.4 muestra el número de falla, nombre y unidad empleada para el revelamiento.

Tabla 2.4 Catálogo de Fallas del pavimento flexible para el método PCI

FALLA N°	DESCRIPCIÓN	UND
1	Piel de Cocodrilo	m <sup>2</sup>
2	Exudación de asfalto	m <sup>2</sup>
3	Grietas en bloque	m <sup>2</sup>
4	Elevación - hundimiento	m <sup>2</sup>
5	Corrugaciones	m <sup>2</sup>
6	Depresiones	m <sup>2</sup>
7	Grietas de borde	m
8	Grietas de reflexión de juntas	m
9	Desnivel carril - berma	m
10	Grietas longitudinal y transversal	m
11	Parqueo en zanjas reparadas	m <sup>2</sup>
12	Agregados pulidos	m <sup>2</sup>
13	Huecos	N°
14	Cruce de rieles*	m
15	Ahuellamiento	m <sup>2</sup>
16	Desplazamiento	m <sup>2</sup>
17	Grietas de deslizamiento	m <sup>2</sup>
18	Hinchamiento	m <sup>2</sup>
19	Desprendimiento de agregados	m <sup>2</sup>

Fuente: ASTM D6433-16

\*Reemplazar por acceso de puentes, pontones y rejillas de drenaje

Es importante que el evaluador del pavimento este familiarizado con los tipos de fallas, sus niveles de severidad y las formas de medición establecidas en el método. Por ello, en el Anexo se describen los tipos de deterioro de pavimento flexible, indicando sus niveles de severidad y su forma de medición.

## 2.4 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO

### 2.4.1 Antecedentes

Los vehículos aéreos no tripulados (drones), tienen sus orígenes en el ámbito militar, ya que fueron diseñados para el combate como potentes armas de guerra. La investigación y desarrollo de los UAV se ha realizado primordialmente por entidades militares de distintos gobiernos, principalmente el de Estados Unidos, quienes desarrollaron una de las aeronaves no tripuladas más conocidas y de mayor utilidad militar denominado RQ-1 Predator que se muestra en a figura 2.9, un vehículo de turbo-propulsión utilizado principalmente para misiones de monitoreo y reconocimiento.



Figura N° 2.9 RQ-1 Predator

Fuente: [www.military.com/equipment/rq-1b-predator](http://www.military.com/equipment/rq-1b-predator)

En la última década los vehículos aéreos no tripulados (UAV) se han convertido en un tema de interés en muchas organizaciones de investigación. Con los nuevos desarrollos, en la fabricación de sensores y automatización, se pueden hacer diseños de vehículos aéreos no tripulados con diferentes características, cada vez más fácilmente [3].

Si bien es cierto, los UAV's se consideraron inicialmente sólo para aplicaciones militares, pero a medida que el costo de fabricación disminuyó, se están encontrando cada vez más aplicaciones civiles en áreas tan diversas como la agricultura, construcción, minería, inspección de infraestructuras o el mundo audiovisual, permitiendo minimizar el tiempo de ejecución de las tareas, así como elevar sustancialmente el grado de eficiencia y seguridad a la hora de realizar misiones relativamente complejas.

## 2.4.2 Unmanned Aerial Vehicle (UAV / VANT)

Un vehículo aéreo no tripulado (VANT) o por sus siglas en inglés UAV (Unmanned Aerial Vehicle), es un sistema de vuelo que no requiere de un piloto a bordo, ya que, a través de una serie de unidades de procesamiento, sensores incorporados y un enlace de comunicación, es guiado autónomamente basado en misiones pre-programadas, o bien controlado de forma remota por un operador en tierra [2].

El nombre dron o del inglés drone, viene de abeja macho o zángano, el cual hace referencia al zumbido producido por sus motores, similares al de los zánganos volando.

## 2.4.3 Clasificación de los UAV

Existen diferentes clasificaciones de los UAV, sin embargo, podemos dividirlos en dos grandes grupos, según su empleo:

- Industria militar, conformado por alas fijas.
- Empresas civiles, pioneras en la actividad de drones, referido al ala rotaria, y que incorpora nuevos conceptos de multirrotores.

### 2.4.3.1 UAV - Alas fijas

Son aeronaves parecidas a la forma de un avión como se observa en la figura 2.10; se basan en el aprovechamiento de la interacción de un perfil alar con el aire, para que el efecto de sustentación provoque el vuelo de las mismas. La propulsión va a ser proporcionada por una hélice o conjunto de hélices colocadas en diversas localizaciones, dependiendo del tipo de aeronave y perfil alar que vaya a ser utilizado. Por tanto, aprovecha la impulsión del motor más la suma de la proyección o sustentación que provoca el ala para volar, avanzar su desplazamiento y sostenerse [5]. El equipo presenta ventajas y desventajas, como:

- Como ventaja, presenta una mayor autonomía y la posibilidad de una mayor velocidad de desplazamiento comparada con los otros tipos, por lo que son ideales para mapear grandes superficies de terreno.
- Como desventaja presenta incapacidad para el vuelo estacionario, es decir, no posee la capacidad de mantenerse en el aire, teniendo limitado su desplazamiento en un solo sentido, por lo que requiere un área grande sin obstáculos para el despegue y aterrizaje del mismo.





Figura N° 2.10 Aeronave de ala fija

Fuente: [www.lengemann.us/topconsiriusprouav.aspx](http://www.lengemann.us/topconsiriusprouav.aspx)

#### **2.4.3.2 UAV - Alas rotatoria o multirrotor**

Está basado en las alas giratorias estructuradas en el giro de palas normalmente acompasadas dos a dos como se muestra en la figura 2.11, para compensar los efectos contrarrotatorios aprovechan el empuje generado con este giro de pala para mantenerse en el aire. Además, mediante una tarjeta controladora se puede modificar el empuje en cada bloque motor-hélice para cambiar características como: sustentación, dirección, avance o retroceso, alabeos, ascenso o descenso en el conjunto del multirrotor. En cuanto a sus ventajas y desventajas, se puede mencionar lo siguiente:

- Ventaja es su capacidad para mantenerse en vuelo estacionario y desplazarse a lo largo de los tres ejes, teniendo así total libertad de movimientos [5].
- Proporcionan gran versatilidad y eficacia en las operaciones por su simpleza a la hora de ser pilotados y por la velocidad de montaje.
- Admite instalar diferentes tipos de sensores (cámaras RGB, multiespectrales, termográficas) que permiten realizar diferentes tipos de trabajos.
- Como desventajas, ofrece menor autonomía, en la actualidad los multirrotos no suelen superar los 40 minutos de vuelo.



Figura N° 2.11 Ala rotatoria o multirrotor

Fuente: [www.projectlink.com.au/new-trimble-zx5-multirotor-uas](http://www.projectlink.com.au/new-trimble-zx5-multirotor-uas)

En función de la cantidad de motores, los multirrotores pueden ser denominados como tricópteros, cuadricópteros, hexacópteros y octocópteros como se muestra en la figura 2.12. También existen los multirrotores coaxiales, los cuales tienen dos motores por brazo que proporcionan un ahorro en el peso del aparato por contar con la mitad de brazos, pero por el contrario disminuye su eficiencia aerodinámica.

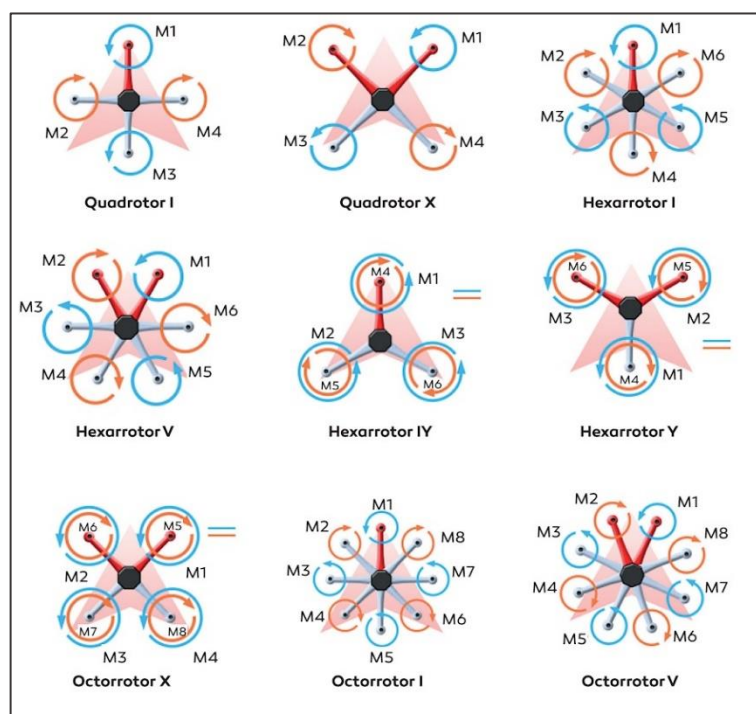


Figura N° 2.12 Configuraciones de multirrotores

Fuente: Guía de Mantenimiento y reparación de drones

### 2.4.3.3 UAV - Híbridos

Los modelos de vehículos aéreos no tripulados híbridos son las generaciones de drones más avanzados en la actualidad y menos difundidos en el mercado actual. La mayoría de los conceptos de este tipo de aeronaves aún están en fase de experimentación y desarrollo, siendo los más avanzados en el sector militar. Sin embargo, debido a su complejidad en su estructura existen pocos modelos comerciales con precios sumamente elevados.

Este tipo de aeronaves, está relacionado con la mezcla de sistemas de sustentación vistos anteriormente, es decir, la utilización o integración de elementos característicos de equipos de ala fija y ala rotatoria como se puede apreciar en la figura 2.13. La combinación de estos sistemas controlado electrónicamente, aporta nuevas capacidades como, control de posición, capacidad de sustentación y maniobrabilidad.

La inclusión de los sistemas híbridos ha facilitado una importante evolución en las mejoras técnicas de las aeronaves no tripuladas. Antes los equipos disponían de un sistema de despegue y aterrizaje en pista y, por consiguiente, tenían cierta limitación en sus operaciones, en cambio con este nuevo concepto, se puede operar desde cualquier superficie y aterrizar o despegar verticalmente [5].



Figura N° 2.13 Vehículo aéreo no tripulado Híbrido

Fuente: [launchforth.io/medvedev28/zelator-28/](http://launchforth.io/medvedev28/zelator-28/)

### 2.4.4 Aplicaciones civiles

En los últimos años, el uso de los vehículos aéreos no tripulados con fines civiles se ha incrementado de manera notable. Desde que se utilizaron los primeros globos para transportar sensores fotogramétricos hasta la actualidad, el desarrollo

de las plataformas aéreas y la tecnología asociada para este uso ha sido considerable, esto se debe al desarrollo de los componentes electrónicos que los forman, los cuales han evolucionado reduciendo su tamaño y precio, y aumentando sus prestaciones técnicas [15].

En la actualidad existen un amplio rango de aplicaciones, entre las principales tenemos:

- Producción audiovisual para medios de comunicación
- Servicio de reparto de productos a domicilio (Delivery)
- Búsqueda y rescate de personas
- Seguridad en el control de fronteras
- Control de incendios forestales
- Inspección de infraestructuras
- Agricultura de precisión para el monitoreo de cultivos
- Topografía área mediante técnicas de fotogrametría
- Cartografía digital
- Monitoreo de la calidad del aire
- Arqueología y gestión del patrimonio

#### **2.4.5 Futuras aplicaciones en áreas urbanas**

Actualmente, existen múltiples iniciativas sobre la aplicación de las nuevas tecnologías de los drones para mejorar la eficiencia de los servicios que prestan las administraciones locales a sus ciudadanos. En Europa se están realizando avances muy importantes en este campo, planteando nuevos retos en cuestiones como la seguridad y la movilidad en el entorno urbano. En este sentido, la utilización de drones será un factor relevante y tendrá impacto positivo en la calidad de vida de los ciudadanos.

En lo que respecta a servicios de seguridad estos equipos ayudarán a optimizar la capacidad y el tiempo de respuesta de dichos servicios. Asimismo, transformarán de manera sustancial la forma de inspeccionar los activos de las ciudades, aumentando la seguridad, rapidez y facilidad de la inspección y mantenimiento de infraestructuras esenciales como puentes, túneles y viales, ahorrando costos y recursos.

Para la gestión del tráfico, estas aeronaves permiten acceder fácilmente a zonas congestionadas e incluso localizar accidentes de forma temprana. En un futuro próximo, los drones contribuirán tanto en ámbitos urbanos como interurbanos, al poder interactuar con los vehículos, y de esta forma realizar una gestión más activa del mismo.

La gestión y mantenimiento de las zonas verdes de las ciudades es más eficiente gracias al empleo de los drones, ya que, por ejemplo, permiten detectar con antelación necesidades de agua en zonas verdes. Otro ejemplo es la medición de parámetros y monitorización de la calidad del aire y el agua mediante el empleo de una cámara y de sensores medidores de concentración de monóxido de carbono, ozono u otras partículas [17]. La figura 2.14 muestra algunas aplicaciones futuras de los drones para entornos urbanos.



Figura N° 2.14 Nuevas aplicaciones de los drones en ámbitos urbanos

Fuente: Plan estratégico para el desarrollo civil de los drones en España 2018-2021

## CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DEL PCI CON IMÁGENES VANT GEORREFERENCIADAS

### 3.1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación desarrolla la metodología de evaluación empleando imágenes georreferenciadas obtenidas por un vehículo aéreo no tripulado, que consiste en dos etapas, una en campo y otra en gabinete.

La etapa de campo consiste en relevar la información mediante un vuelo programado a una cierta altura donde el VANT captura imágenes a una velocidad constante de manera de obtener imágenes del estado de la vía en estudio. Es importante resaltar que la persona quien realiza el vuelo debe ser un Operador o Piloto de RPAS acreditado, con el fin de ejecutar un vuelo seguro y pueda tomar las decisiones acertadas frente a cualquier problema que se presente durante la ejecución del vuelo.

La etapa de gabinete se basa en el procesamiento y análisis de las imágenes adquiridas para la obtención de ortofotos y modelos digitales en tres dimensiones que luego se usarán para la inspección del pavimento mediante el método PCI.

Para resumir la metodología que se propone, se ha elaborado el siguiente flujo de trabajo que se muestra en la figura 3.1, y que se desarrollaran a continuación.

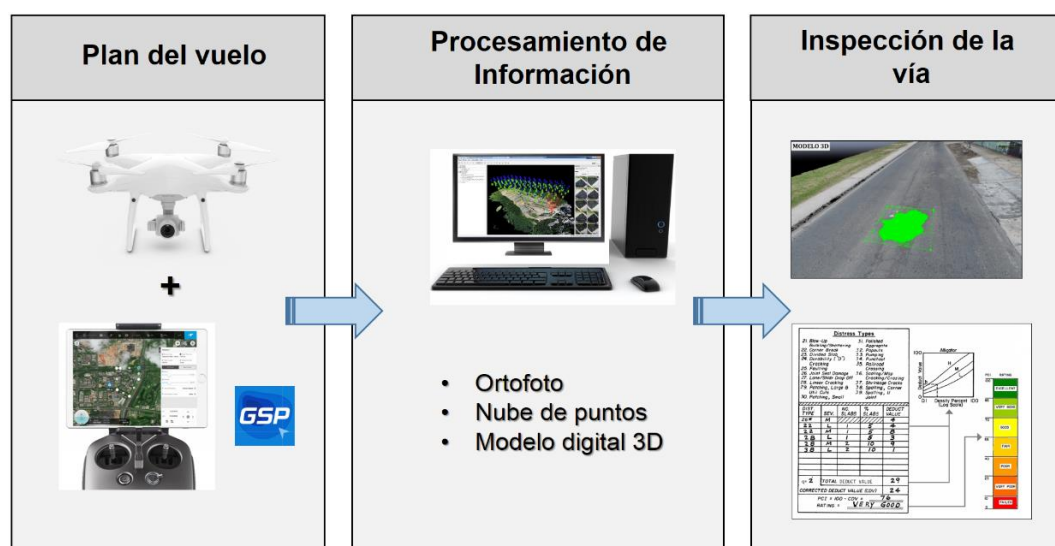


Figura N° 3.1 Flujo de trabajo método VANT

Fuente: Elaboración propia

## 3.2 VUELO FOTOGRAMÉTRICO

### 3.2.1 Equipo utilizado

Para la presente tesis, se ha empleado un Multirotor de la marca DJI, modelo Phantom 4 Pro, el cual se muestra en la figura 3.2.



Figura N° 3.2 DJI Phantom 4 pro

Fuente: [www.dji.com](http://www.dji.com)

Entre sus características principales destacamos los siguientes:

- Peso: 1388 gr.
- Cámara: sensor CMOS de 1" y resolución de 20 Megapíxeles
- Radio de alcance: 7 km.
- Gps: GLONASS
- Velocidad máxima: 72 km/h
- Autonomía: 30 minutos
- Sensores Anticolisión

### 3.2.2. Plan de vuelo

La misión o plan de vuelo se realiza en campo o previamente en gabinete mediante la aplicación DJI Ground Station Pro, diseñada para planificar y programar vuelos automáticos para drones DJI. A través de su interfaz clara y concisa se establece el área que se quiere sobrevolar mediante imágenes satelitales y se introducen los parámetros de vuelo como el tipo de modelo de cámara del VANT, altura de vuelo, porcentaje de traslape longitudinal y transversal entre fotografías como se muestra en la figura 3.3.



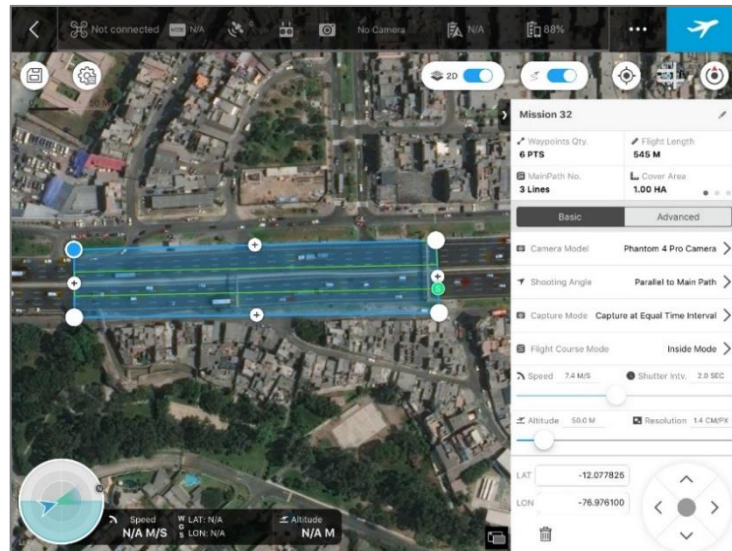


Figura N° 3.3 Interfaz DJI GS Pro

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de identificar las fallas del pavimento, esta metodología propone realizar vuelos a una altura de 20m para garantizar una resolución o GSD de 5mm por pixel, asimismo, considerada traslapes longitudinales y transversales de 80% en ambos casos para obtener mayor número de puntos homólogos y una mejor correlación de los mismos. Una vez ingresados los parámetros, el programa calcula automáticamente el número de líneas de vuelo, número de fotografías proyectadas, velocidad y tiempo de vuelo como se aprecia en la figura 3.4.

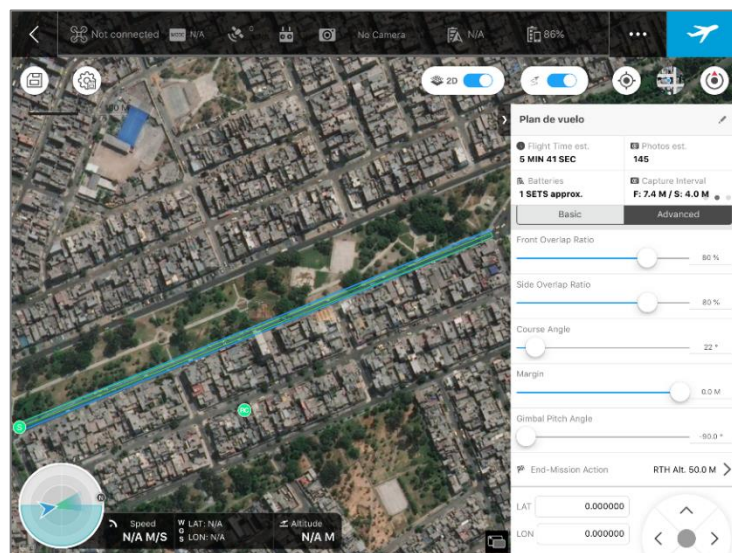


Figura N° 3.4 Parámetros de vuelo en DJI GS Pro

Fuente: Elaboración propia



### 3.2.3 Ejecución de vuelo

Para ejecutar el vuelo se establece una zona de despegue dentro o fuera de la zona de estudio donde no exista ningún obstáculo para que el VANT pueda elevarse sin problemas y realizar el vuelo como se aprecia referencialmente en la figura 3.5. El piloto debe realizar previamente un *check list* que asegura la viabilidad del vuelo:

1. Hélices colocadas correctamente
2. Porcentaje de batería óptima tanto en el VANT como el radiocontrol.
3. Conexión correcta entre el radiocontrol y el VANT.
4. Buena recepción de señal de GPS (al menos 10 satélites)
5. Establecer punto de despegue y retorno en caso de pérdida de señal.
6. Tarjeta de memoria colocada correctamente.
7. Plan de vuelo cargado correctamente

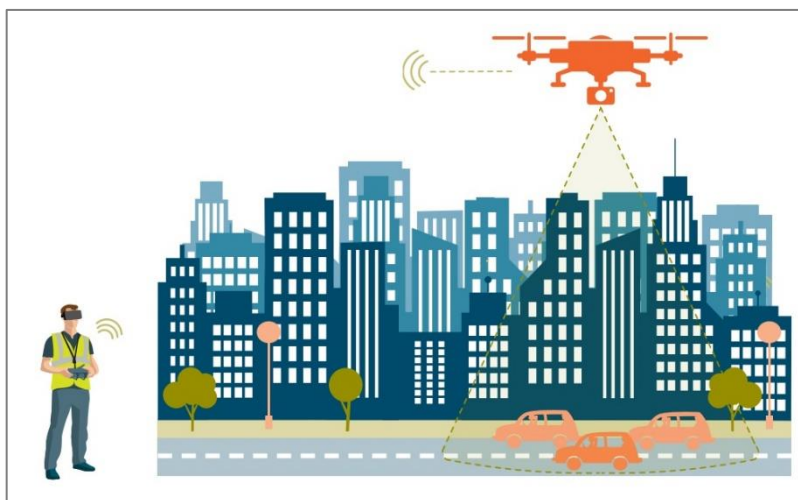


Figura N° 3.5 Ejecución del vuelo en zona de despegue

Fuente: Elaboración propia

Una vez que el VANT despegue e inicia el plan de vuelo, no es necesario el control manual alguno por parte del piloto, salvo se necesite cancelar o pausar el vuelo ante cualquier problema que perjudique el relevamiento de la información. Sin embargo, durante la ejecución del vuelo se puede monitorear en tiempo real la ubicación, velocidad, trayectoria, imagen de transmisión, número de satélites del GPS, cantidad de fotografías realizadas y porcentaje de la batería del equipo como se muestra en la figura 3.6.

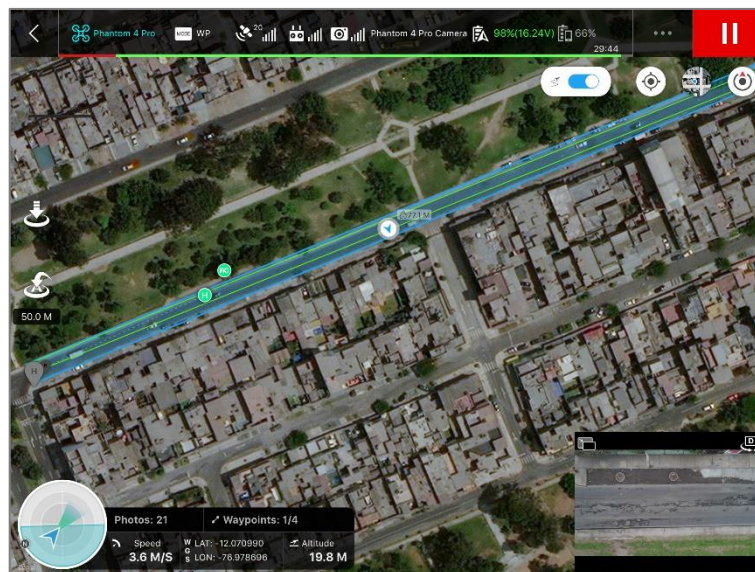


Figura N° 3.6 Monitoreo del vuelo en tiempo real

Fuente: Elaboración propia

Terminado el vuelo, el equipo está programado para retornar automáticamente al punto de despegue a la altura indicada. Todas las imágenes quedan registradas en la memoria externa colocada en el equipo anteriormente, para luego ser descargadas en gabinete y proceder con el procesamiento.

### 3.3 PROCESAMIENTO DE IMAGENES

El procesamiento de las imágenes obtenidas en el vuelo se realiza en gabinete, utilizando el software Pix4D Mapper Pro. Se recomienda el uso de un computador con las siguientes características mínimas:

- Sistema Operativo Windows 7, 8, 10, 64 bits o Mac OS
- CPU Intel i5
- Tarjeta gráfica compatible con OpenGL 3.2.
- 8GB de memoria RAM

#### 3.3.1 Procesamiento inicial

Dentro de la interfaz del programa, se crea un nuevo proyecto y se ingresan las imágenes, el programa identifica automáticamente las características de las imágenes como el sistema de coordenadas empleado, tipo de cámara, geolocalización y orientación de cada imagen obtenida como podemos apreciar en la figura 3.7.

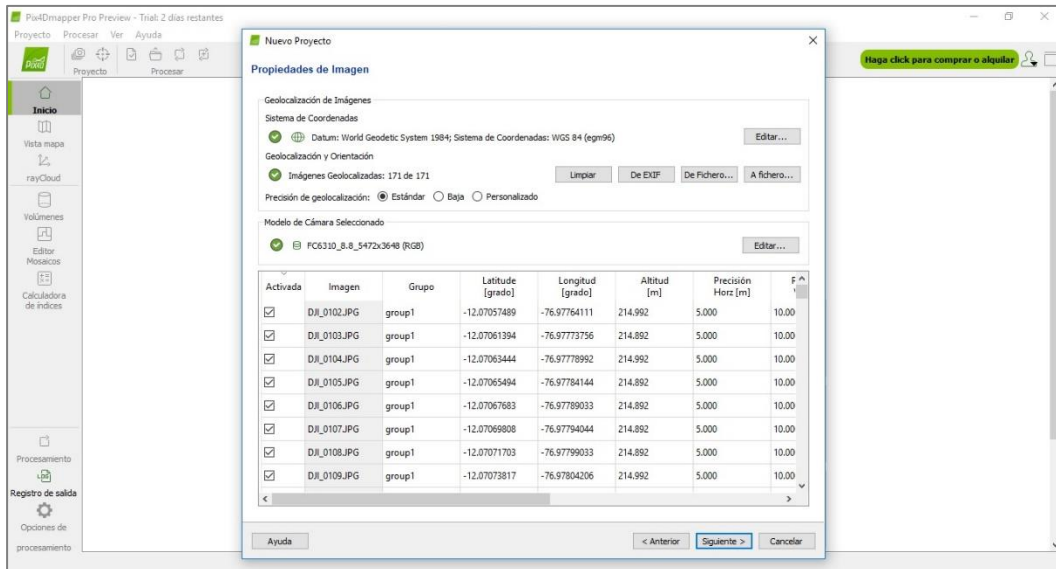


Figura N° 3.7 Creación de nuevo proyecto en Pix4d Mapper

Fuente: Elaboración propia

Luego, se inicia el procesamiento inicial donde el programa extrae los puntos clave de las imágenes, como por ejemplo las coordenadas de cada fotografía, resolución e inclinación de la cámara, para calcular la verdadera ubicación y orientación de cada imagen como podemos ver en la figura 3.8.

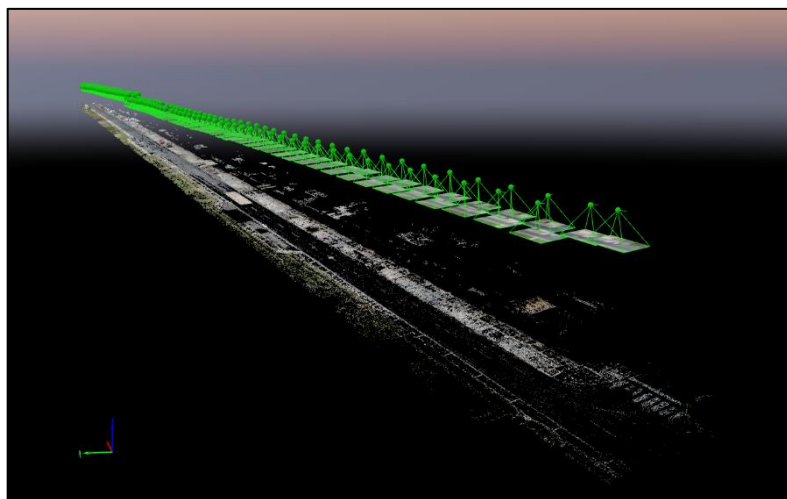


Figura N° 3.8 Procesamiento inicial

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Nube de puntos densa

Después del procesamiento inicial, el programa analiza los puntos característicos comunes entre las imágenes y los correlaciona para crear una nube de puntos densa como se muestra en la figura 3.9.

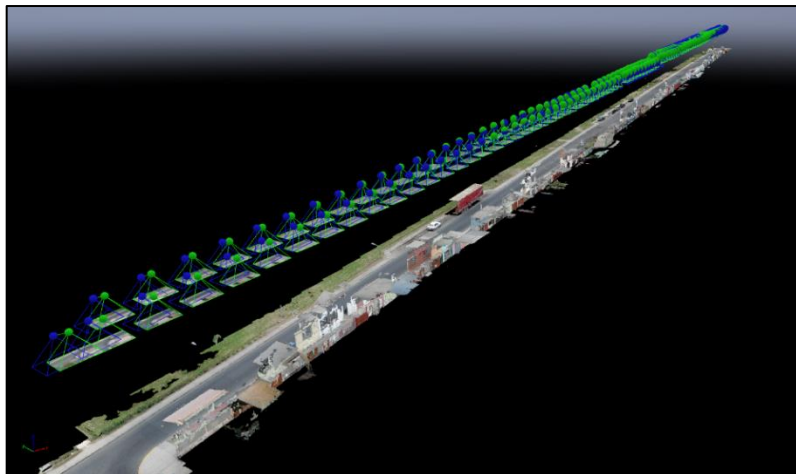


Figura N° 3.9 Creación de nube de puntos densa

Fuente: Elaboración propia

Luego, realiza la triangulación entre puntos para generar la malla que da como resultado un modelo 3D digital de la zona de estudio como se aprecia en la figura 3.10. En este modelo se pueden realizar mediciones de longitud y área, así como también medir profundidades de las diferentes fallas del pavimento.



Figura N° 3.10 Modelo digital 3D

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Ortofoto y Modelo digital de superficie

Se obtiene la ortofoto georreferenciada de toda la zona de estudio con una gran resolución como se aprecia en la figura 3.11.

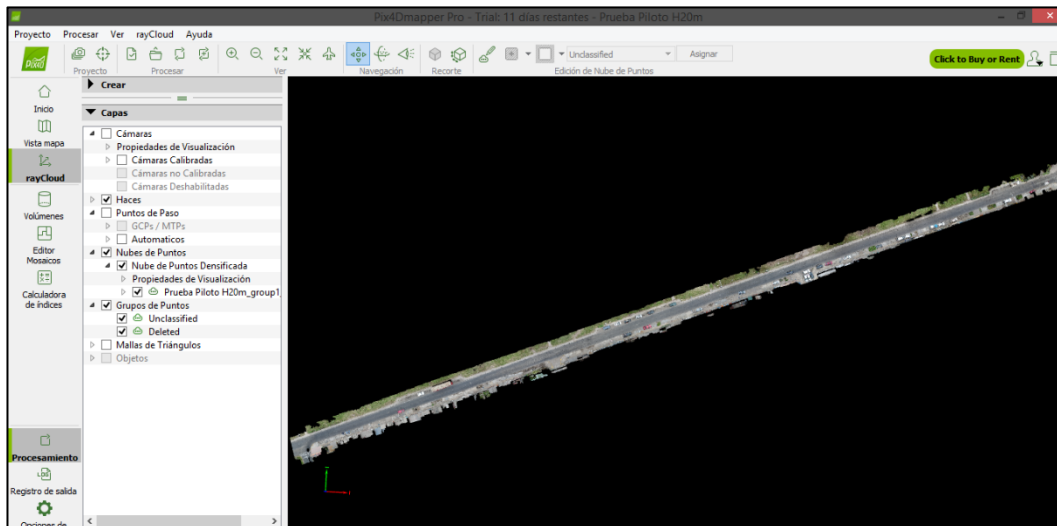


Figura N° 3.11 Ortofoto de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

Por último, se genera el modelo digital de superficie, el cual representa las elevaciones del terreno asignando un color diferente en función a su posición espacial como se aprecia en la figura 3.12.

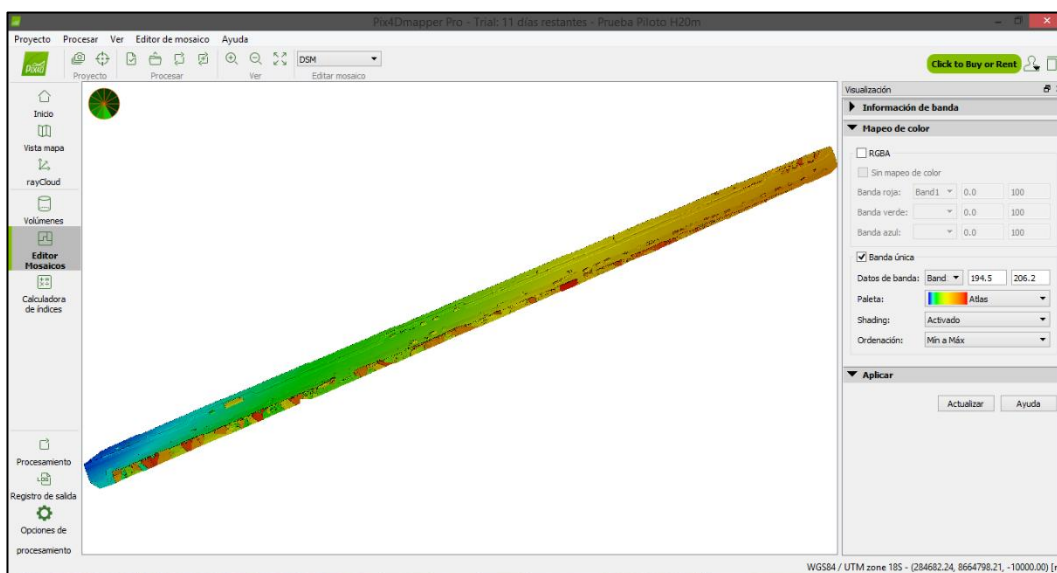


Figura N° 3.12 Modelo digital de Superficie MDS

Fuente: Elaboración propia



### 3.3.4 Limpieza de obstáculos

Es probable que en la ortofoto se aprecien vehículos o personas debido al usual tránsito en la vía, lo cual impide realizar la inspección en gabinete como se muestra en la figura 3.13, esto sucede a que en este método no es necesario cerrar parcial o totalmente la vía para ejecutar el vuelo.

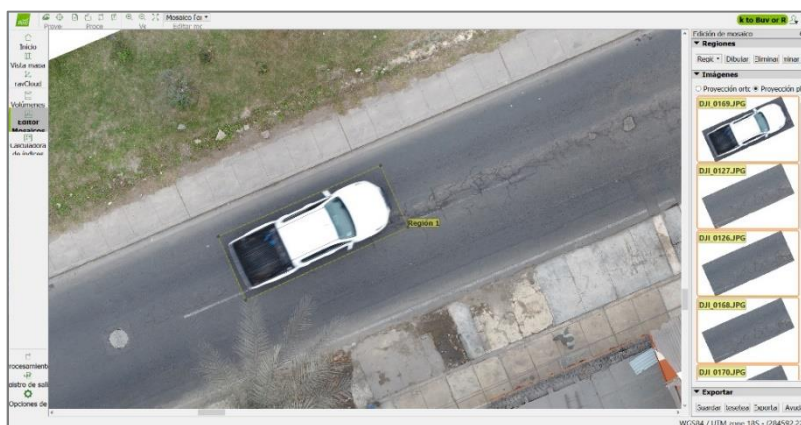


Figura N° 3.13 Ortofoto con tránsito

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, el software permite editar la ortofoto, obteniendo como resultado una vía despejada de vehículos para poder realizar la inspección completa de la misma, esto es posible ya que al tener imágenes traslapadas con un 80% tanto en la dirección longitudinal como transversal, cada región del pavimento está capturada en más de una fotografía, por lo cual la ortofoto es modificable, como se aprecia en la figura 3.14.



Figura N° 3.14 Ortofoto editada

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 INPECCIÓN DE LA VÍA

Con la ortofoto de gran resolución y el modelo en 3D se procede a realizar la identificación de las fallas de cada unidad de muestra, determinando la longitud o área según el tipo de falla y su grado de severidad como se muestra en la figura 3.15. Asimismo, se introduce los datos de la inspección del tramo en una hoja de cálculo indicando los diferentes tipos de fallas, severidad y densidad, de manera que se integre al Método PCI para finalmente determinar la condición de cada unidad de muestra.



Figura N° 3.15 Identificación de fallas, severidad y metrado

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, los resultados pueden exportarse a plataformas CAD o GIS de manera de elaborar planos detallados de las fallas encontradas con sus metrados y coordenadas correspondientes, para su posterior análisis y mantenimiento correctivo. Es importante resaltar que los resultados pueden ser reprocesados y analizados en cualquier momento.

## CAPÍTULO IV: METODO VANT Y PCI EN ZONA DE PRUEBA

### 4.1 TRAMO DE PRUEBA

#### 4.1.1 Ubicación

El tramo de prueba se encuentra comprendido entre las cuadras 8 -10 de la Av. Separadora Industrial, distrito de ATE, Lima, ubicada geográficamente a una altura de 195 m.s.n.m., como se observa en la figura 4.1.

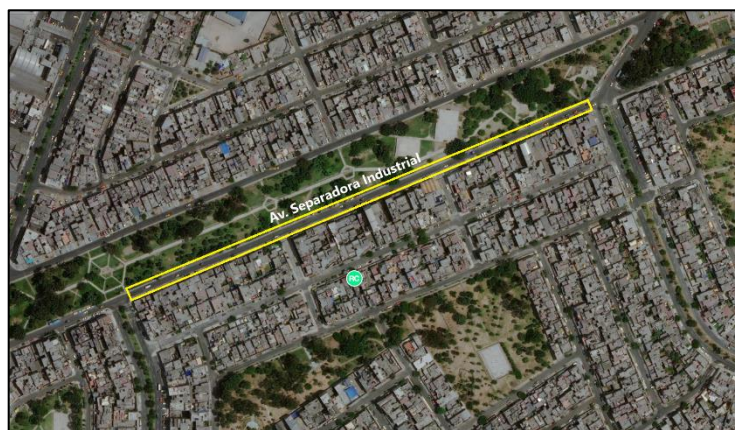


Figura N° 4.1 Ubicación de la vía

Fuente: Google Maps

#### 4.1.2 Características de la vía

La figura 4.2 muestra la vía con un pavimento a nivel de carpeta asfáltica (flexible), con dos carriles en el mismo sentido y un ancho de calzada de 6m. sin bermas. Posee una longitud de 510 m. y un área de 3060 m<sup>2</sup>.

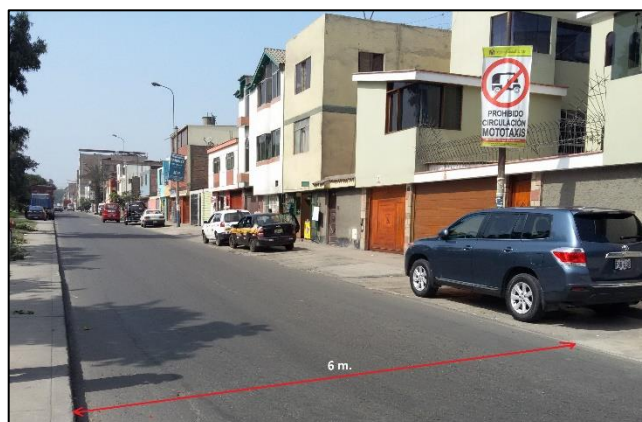


Figura N° 4.2 Vía de pavimento flexible

Fuente: Adaptado de Google Maps



### 4.1.3 Características de la zona

La vía en estudio recorre zonas residenciales generalmente de densidad media, comercio zonal y vivienda taller según el plano actual de zonificación del distrito de ATE que se muestra en la figura 4.3. Al realizar el recorrido se observan negocios como bodegas, restaurantes, peluquerías, viviendas con edificios de hasta 6 pisos entre unifamiliares y multifamiliares.



Figura N° 4.3 Plano de zonificación del distrito de Ate

Fuente: Instituto Metropolitano de Planificación

### 4.1.4 Características del tránsito

El tipo de vehículos que circulan usualmente en la vía son: autos, camionetas, motos lineales, combis, buses y camiones como se aprecia en la figura 4.4.



Figura N° 4.4 Tránsito de la vía

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 APLICACIÓN DEL METODO PCI

### 4.2.1 Muestreo y unidades de muestreo

La vía de estudio cuenta con una longitud de 510 m y un área de 3060 m<sup>2</sup>, por lo tanto, se secciona la vía en tramos de 40 m. obteniendo la siguiente cantidad de unidades de muestreo:

$$N = \frac{510}{40} \approx 13 \text{ UM}$$

Se dividió la sección en 13 unidades de muestra, con 12 tramos de 40 m. y 1 tramo de 30 m., iniciando en la cuadra 8 y terminando en la cuadra 10 de la Av. Separadora industrial. La tabla 4.1 y figura 4.5 muestran el orden de las unidades de muestreo con sus respectivas progresivas.

Tabla 4.1 Unidades de muestreo

Unidades de Muestreo	Longitud (m)	Progresiva		
UM 01	40	0 + 000	-	0 + 040
UM 02	40	0 + 040	-	0 + 080
UM 03	40	0 + 080	-	0 + 120
UM 04	40	0 + 120	-	0 + 140
UM 05	40	0 + 140	-	0 + 180
UM 06	40	0 + 180	-	0 + 240
UM 07	40	0 + 240	-	0 + 260
UM 08	40	0 + 260	-	0 + 300
UM 09	40	0 + 300	-	0 + 340
UM 10	40	0 + 340	-	0 + 380
UM 11	40	0 + 380	-	0 + 420
UM 12	40	0 + 420	-	0 + 480
UM 13	30	0 + 480	-	0 + 510

Fuente: Elaboración propia

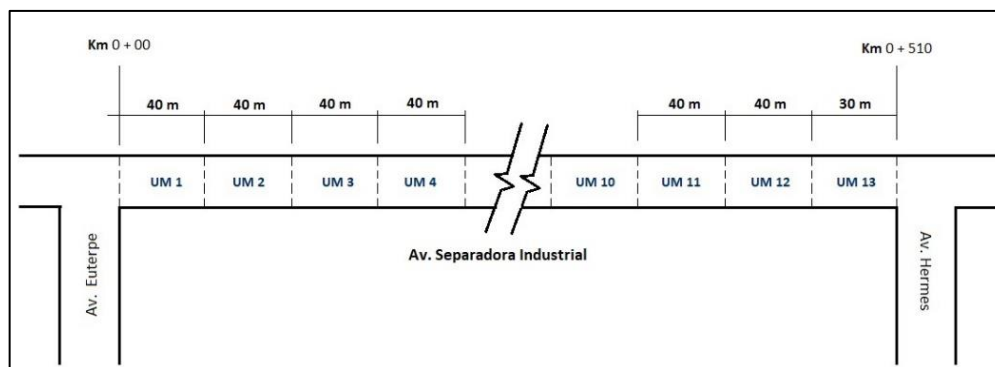


Figura N° 4.5 Unidades de muestreo

Fuente: Elaboración propia

El número mínimo de unidades de muestra a ser evaluadas ( $n$ ) en toda la sección, para obtener un nivel de confianza del 95% del PCI, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{13 \times (10^2)}{\left(\frac{5^2}{4}\right) \times (13 - 1) + 10^2} \approx 7$$

Asimismo, hallamos el intervalo de muestreo ( $i$ ):

$$i = \frac{13}{7} \approx 1$$

Por lo tanto, las unidades de inspeccionar serán: UM1, UM3, UM5, UM7, UM9, UM11 y UM13, como se aprecia en la figura 4.6.



Figura N° 4.6 Unidades de muestra a inspeccionar

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2 Levantamiento de fallas en campo

El relevamiento de las fallas se realizó según las indicaciones descritas en el ítem 2.5, empleando hojas de inspección y catálogo de fallas de referencia como se muestra en la figura. 4.7.

Debido al tránsito de vehículos fue necesario cerrar parcialmente la vía utilizando conos de seguridad como se aprecia en la figura 4.8, adicionalmente se usó el equipo de protección adecuado como se aprecia en la figura 4.9.

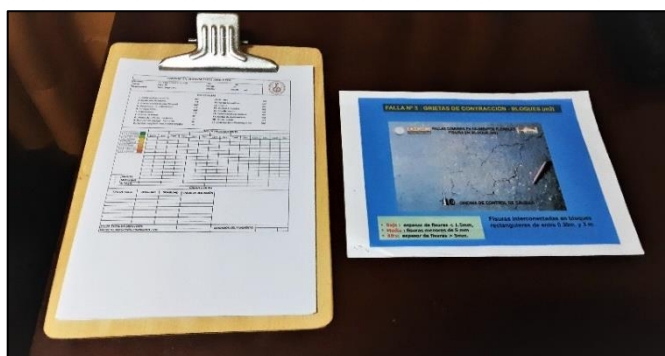


Figura N° 4.7 Hojas de inspección y catálogo de fallas

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4.8 Elementos de seguridad

Fuente: Elaboración propia





Figura N° 4.9 Inspección en campo

Fuente: Elaboración propia

Se identificaron las fallas de las 7 unidades de muestra, determinando su cantidad, grado de severidad y densidad. En general se encontraron 5 tipos de fallas, las cuales fueron: Piel de cocodrilo, grietas en bloque, parcheo, huecos, grietas longitudinales y transversales las cuales se pueden apreciar en las figuras 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13.



Figura N° 4.10 Piel de cocodrilo

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4.11 Huecos

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4.12 Parcheo

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4.13 Grietas longitudinales y transversales

Fuente: Elaboración propia

### **4.2.3 Rendimiento de inspección y personal de campo**

El tiempo total de la inspección para las 7 unidades de muestra fue de 5 horas y media, iniciando a las 10:00 am y culminando a las 3:30 pm. El rendimiento de inspección promedio fue de 50 minutos por cada unidad de muestra de 40m cada una, esto se debió a la cantidad de fallas que se encontró como también al tránsito de vehículos.

El personal de campo para inspección estuvo compuesto 3 personas, de las cuales 2 fueron los evaluadores y un asistente para la toma de fotografías.

### **4.2.4 Cálculo del PCI en unidad de muestra**

Para poder entender el procedimiento del cálculo del PCI, se escogió la unidad de muestra UM03 como ejemplo para realizar paso a paso el cálculo de su condición actual.

La figura 4.14 describe la hoja de inspección con las fallas encontradas dentro de la progresiva 0+80 al 0+ 120, correspondiente a la unidad de muestra 03.


EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS																																				
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial				<b>Del:</b>	0 + 80.00		<b>Al:</b>	0 + 120.00																											
<b>Fecha</b>	May-18				<b>Código</b>	UM 03																														
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz				<b>Sección</b>	240.00		m2																												
<b>TIPO DE FALLAS</b>																																				
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2																														
2. Exudación de asfalto		m2		12. Agregados pulidos		m2																														
3. Grietas de contracción (bloque)		m2		13. Huecos		N°																														
4. Flevaciones - Hundimientos		m2		14. Accesos a puentes		m2																														
5. Corrugaciones		m2		15. Ahuellamiento		m2																														
6. Depresiones		m2		16. Deformación por empuje		m2																														
7. Grietas de borde		m		17. Grietas de deslizamiento		m2																														
8. Grietas de reflexión de juntas		m		18. Hinchamiento		m2																														
9. Desnivel de calzada - hombrillo		m		19. Disgregación y Desintegración		m2																														
10. Grietas longitudinales y transversales		m																																		
<b>TIPO DE FALLAS EXISTENTES</b>																																				
<table border="1"> <tr> <td>86 - 100</td> <td>EXCELENTE</td> <td style="background-color: green;"></td> </tr> <tr> <td>71 - 85</td> <td>MUY BUENO</td> <td style="background-color: yellow;"></td> </tr> <tr> <td>56 - 70</td> <td>BUENO</td> <td style="background-color: orange;"></td> </tr> <tr> <td>41 - 55</td> <td>REGULAR</td> <td style="background-color: red;"></td> </tr> <tr> <td>26 - 40</td> <td>POBRE</td> <td style="background-color: darkred;"></td> </tr> <tr> <td>11 - 25</td> <td>MUY POBRE</td> <td style="background-color: black;"></td> </tr> <tr> <td>0 - 10</td> <td>FALLADO</td> <td style="background-color: gray;"></td> </tr> </table>		86 - 100	EXCELENTE		71 - 85	MUY BUENO		56 - 70	BUENO		41 - 55	REGULAR		26 - 40	POBRE		11 - 25	MUY POBRE		0 - 10	FALLADO		<b>11</b>		<b>1</b>		<b>10</b>		<b>3</b>							
		86 - 100	EXCELENTE																																	
71 - 85	MUY BUENO																																			
56 - 70	BUENO																																			
41 - 55	REGULAR																																			
26 - 40	POBRE																																			
11 - 25	MUY POBRE																																			
0 - 10	FALLADO																																			
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																					
		1.9	M	12.13	L	7.02	L	9.52	M																											
		0.98	M	5.68	H	1.06	L																													
		1.16	L	2.63	L	1.10	M																													
		1.12	L	1.26	L	2.02	L																													
		25.3	L	2.96	L																															
		1.16	L	7.88	L																															
<b>TOTAL</b>		<b>BAJA (L)</b>		28.74		26.86		10.1																												
		<b>MEDIA (M)</b>		2.88				1.10		9.52																										
		<b>ALTA (H)</b>				5.68																														
<b>CÁLCULO DE PCI</b>																																				
<b>TIPO DE FALLA</b>		<b>DENSIDAD</b>		<b>SEVERIDAD</b>		<b>VALOR DE DEDUCCIÓN</b>																														
11		11.98%		L		18																														
11		1.20%		M		10																														
1		11.19%		L		33																														
1		2.37%		H		42																														
10		4.21%		L		9.5																														
10		0.46%		M		5																														
3		3.97%		M		9																														
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>						126.5		<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b>				36																								
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>						64						<b>Pobre</b>																								

Figura N° 4.14 Hoja de inspección UM03

Fuente: Elaboración propia

Se totalizan cada falla según el tipo y nivel de severidad, luego se determina su densidad dividiendo la cantidad de cada daño entre el área total de muestra, expresando el resultado en porcentaje. Por ejemplo, para la primera falla tenemos en total 28.74 m<sup>2</sup> de parcheo de severidad leve, la densidad será:

$$Densidad = \frac{28.74 \text{ m}^2}{240 \text{ m}^2} = 11.98\%$$



Luego, se emplea la gráfica de curva valor deducido para asfalto correspondiente a "Parcheo" de la ASTM D6433, que se encuentra en el anexo de la presente tesis. Para este ejemplo, ingresamos con la densidad hallada en el eje de las abscisas y prolongamos la línea hasta la curva L, la cual corresponde a una severidad Leve, luego se proyecta la intersección al eje de las ordenadas para determinar el valor deducido como se aprecia en la figura 4.15.

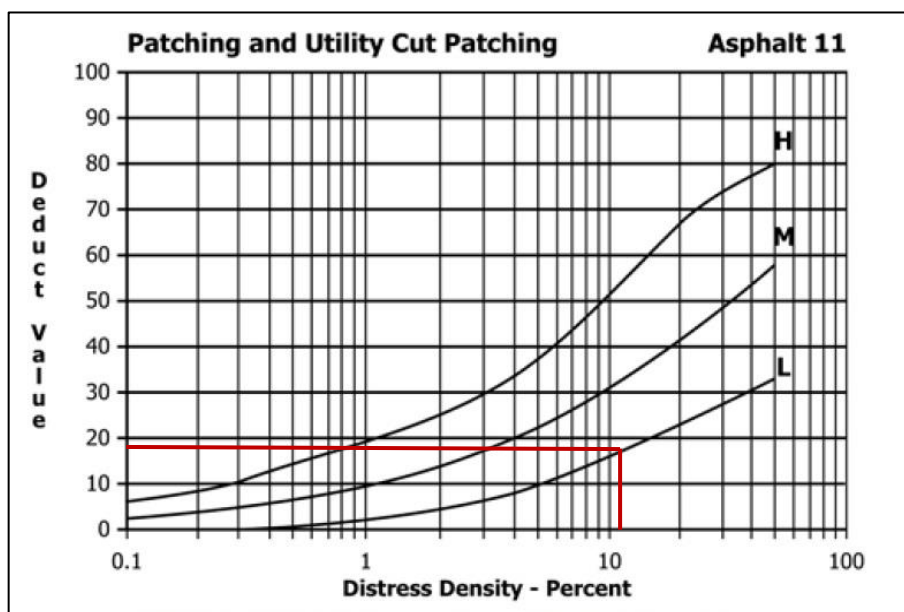


Figura N° 4.15 Curva valor deducido para Parcheo

Fuente: Elaboración propia

Una vez hallado los valores deducidos de cada combinación Tipo de deterioro – severidad, se procede a seleccionar el mayor valor deducido, que para este caso es de 33, y se procede a determinar el número máximo de valores deducidos (m) mediante la siguiente ecuación:

$$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - 33) = 7.15$$

Como se tiene 7 valores deducidos en total, se utilizan todos para hallar el valor deducido total. Luego para determinar el valor de deducción corregido (VDC) se ordena los valores deducidos de mayor a menor de tal manera de ingresar la sumatoria de ellos (VDT), en el primer caso 126.5 y q=7 en la gráfica de valor deducido corregido para determinar el valor total deducido como se muestra en la figura 4.16

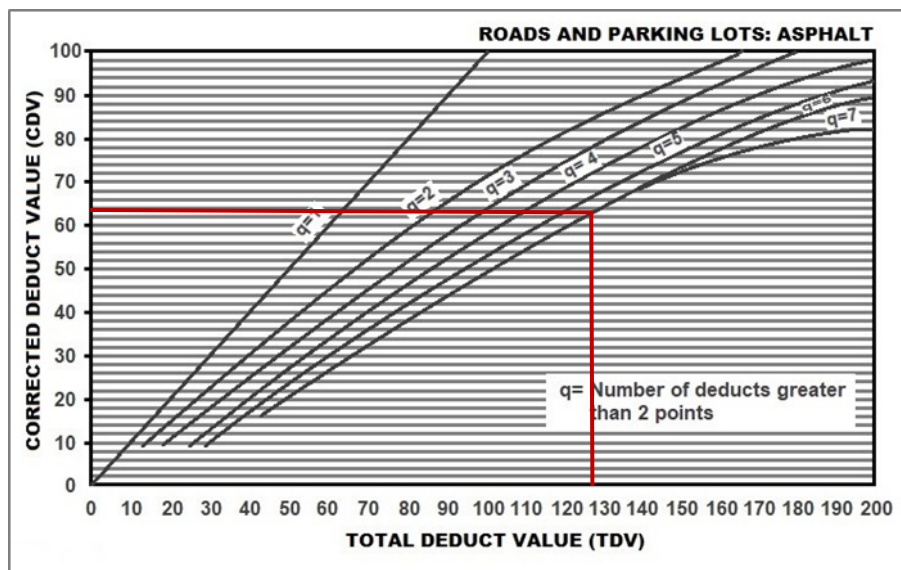


Figura N° 4.16 Curva valor deducido corregido

Fuente: Elaboración propia

Se realiza el mismo procedimiento reemplazando el último valor deducido por 2 y disminuyendo el valor de q en una unidad, hasta que llegue al valor de 1, de tal manera de hallar los valores deducidos corregidos para cada valor de q.

Después de calcular todos los valores deducidos corregidos se tomará el mayor valor de ellos como se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Valores deducidos corregidos

N°	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	42	33	18	10	9.5	9	5	126.5	7	64
2	42	33	18	10	9.5	9	2	123.5	6	61
3	42	33	18	10	9.5	2	2	116.5	5	61
4	42	33	18	10	2	2	2	109	4	63
5	42	33	18	2	2	2	2	101	3	<b>64</b>
6	42	33	2	2	2	2	2	85	2	62
7	42	2	2	2	2	2	2	54	1	54

<b>Máx VDC</b>	<b>64</b>
----------------	-----------

Finalmente se calcula el PCI mediante la siguiente ecuación:

$$PCI = 100 - \max VDC$$

$$PCI = 100 - 64 = 36$$

Por lo tanto, la unidad de muestra UM03, tiene un índice de condición del pavimento de 36, lo cual se clasifica como un pavimento Pobre.

#### 4.2.4 Interpretación de Resultados

Luego de realizar la evaluación en campo y procesar la información relevada, se obtuvieron los índices de condición de pavimento en cada unidad de muestra evaluada. La tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos en cada unidad de muestra con su respectivo PCI y clasificación.

Tabla 4.3 Resultados de PCI en unidades de muestra

Unidad de muestra	Area (m2)	PCI	Clasificación
UM 01	240	54	Regular
UM 03	240	36	Pobre
UM 05	240	18	Muy Pobre
UM 07	240	40	Pobre
UM 09	240	26	Pobre
UM 11	240	18	Muy Pobre
UM 13	240	59	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Las hojas de inspección y cálculos de PCI en cada unidad de muestra evaluada se encuentran en el anexo de la presente tesis.

### 4.3 MÉTODO VANT

#### 4.3.1 Plan de Vuelo

Se realizó el plan de vuelo mediante la aplicación DJI GS Pro, proyectando el vuelo a una altura de 20 m. sobre el pavimento, a una velocidad de 3.7 m/s, capturando imágenes cada 2 segundos y considerando un traslape longitudinal y transversal de 80 % como se muestra en las figuras 4.17 y 4.18

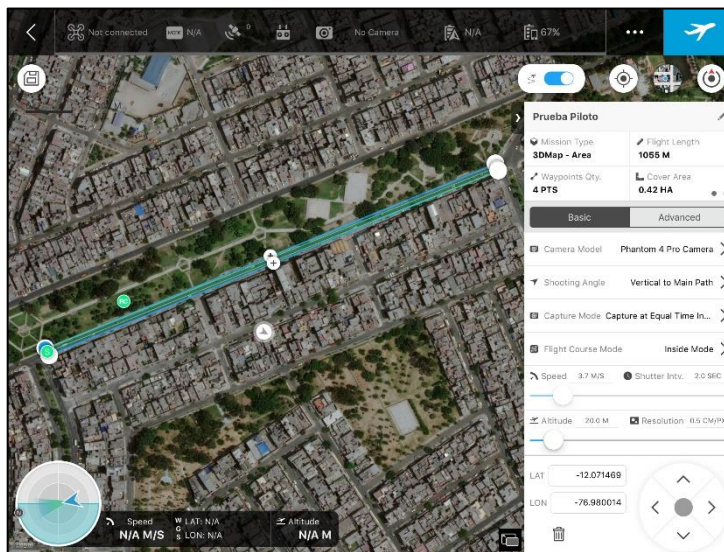


Figura N° 4.17 Plan de vuelo A1

Fuente: Elaboración propia

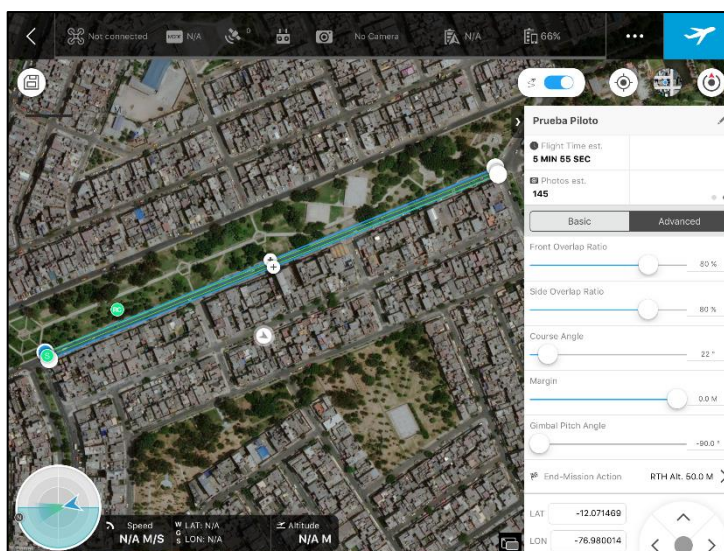


Figura N° 4.18 Plan de vuelo A2

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2 Ejecución de vuelo

El vuelo se desarrolló al medio día con el tránsito vehicular usual, despegando desde un lado de la vía como se aprecia en la figura 4.19. El tiempo total de vuelo fue de 6 minutos con 50 segundos desde el ascenso del VANT hasta el aterrizaje, obteniendo en total 145 imágenes georreferenciadas con una resolución de 5432x3648 pixeles.



Figura N° 4.19 Ejecución de vuelo en vía de prueba

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3 Procesamiento de las imágenes

Las imágenes se procesaron en gabinete mediante el software PIX4DMapper, con las opciones de procesamiento que se aprecia en la figura 4.20.

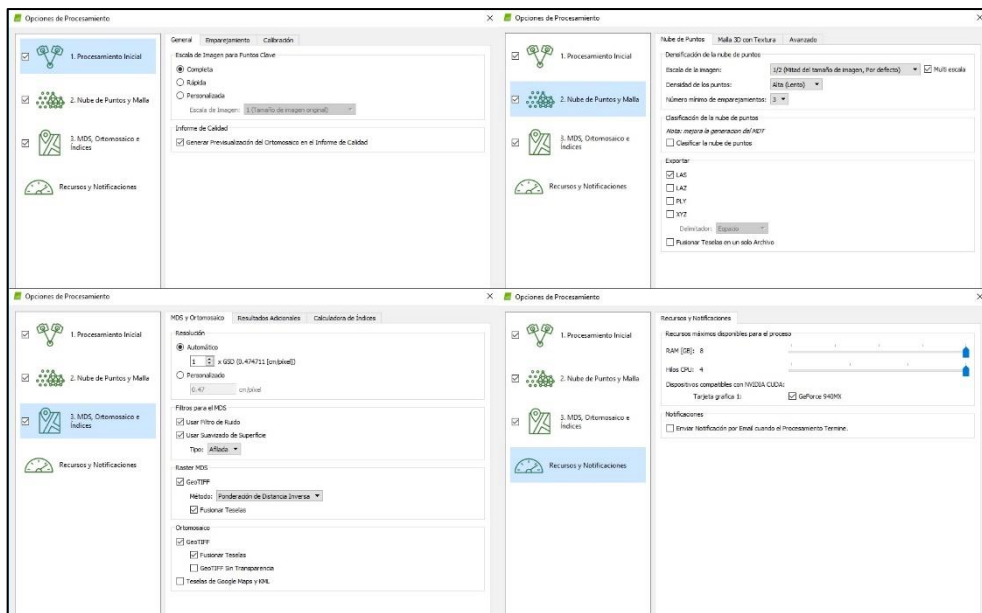


Figura N° 4.20 Opciones de procesamiento

Fuente: Elaboración propia



Se procedió a realizar el procesamiento inicial, la cual calibra las imágenes obteniendo una pequeña nube de puntos como se muestra en la figura 4.21.

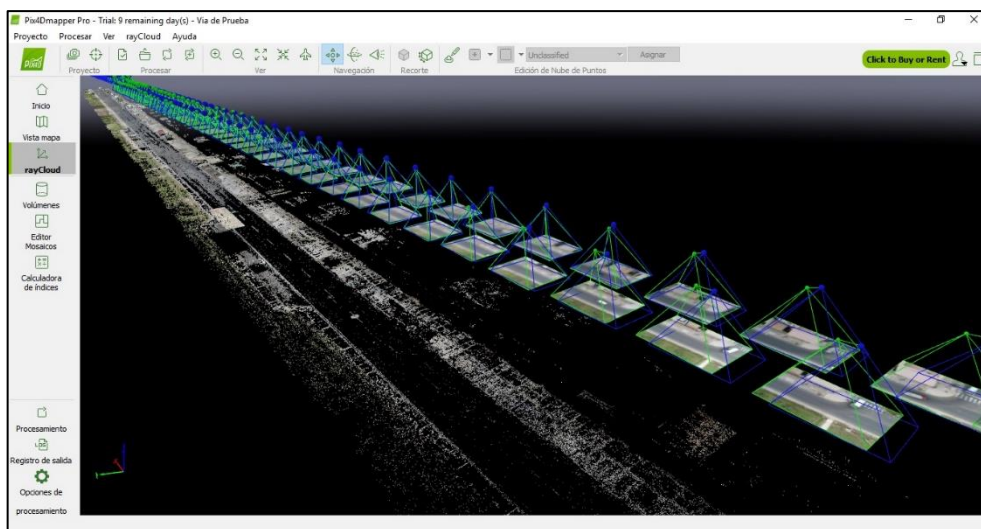


Figura N° 4.21 Procesamiento inicial

Fuente: Elaboración propia

Luego se generó la nube de puntos densa, obteniendo en total 29'758,344 puntos como se aprecia en la figura 4.22.

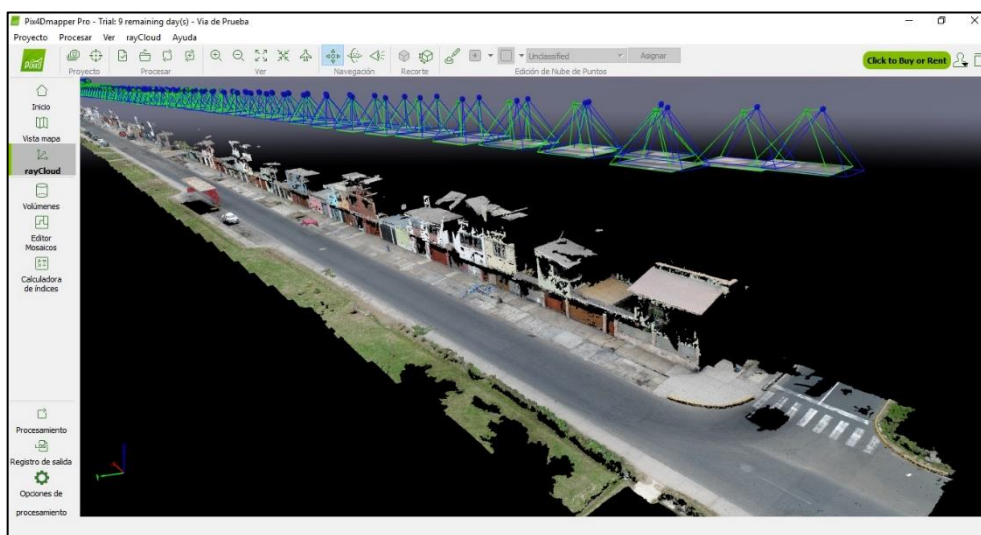


Figura N° 4.22 Nube de puntos densa de la vía de prueba

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realizó la triangulación y la malla para obtener el modelo digital en 3D de la vía en estudio, la cual se muestra en la figura 4.23.

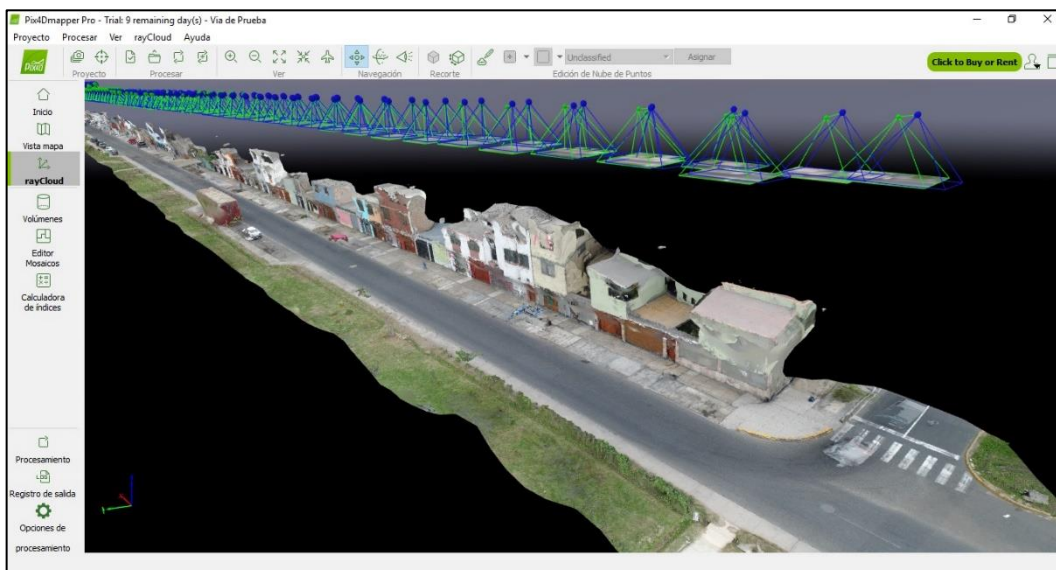


Figura N° 4.23 Modelo digital 3D de la vía

Fuente: Elaboración propia

Dentro del modelo digital se recorre la vía observando el estado de la superficie del pavimento como se aprecia en la figura 4.24.



Figura N° 4.24 Detalles del modelo digital de la vía

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se obtuvo como producto la ortofoto de toda la vía, con una resolución de 5 mm por pixel, donde se encontraron varios vehículos que impedían ver el estado del pavimento, esto se debe a que no se cerró la vía para ejecutar el vuelo. Sin embargo, se procedió a editar la ortofoto reemplazando las zonas con obstáculos como podemos observar como ejemplo en la figura 4.25.

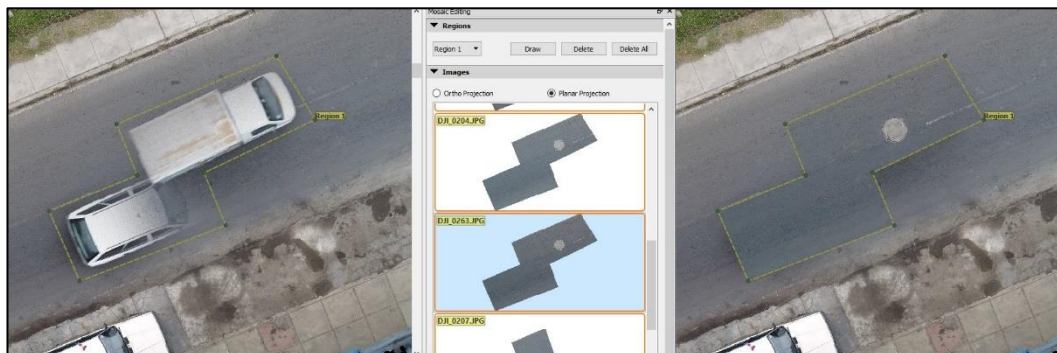


Figura N° 4.25 Proceso de edición de obstáculos

Fuente: Elaboración propia

Se editaron 29 regiones de la vía en estudio, logrando obtener una ortofoto de la vía totalmente despejada como se aprecia en la figura 4.26.



Figura N° 4.26 Edición de la ortofoto

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se genera el modelo digital de superficie (MDS), en la cual podemos observar la variación de cotas en toda la longitud de la vía, como se muestra en la figura 4.27.

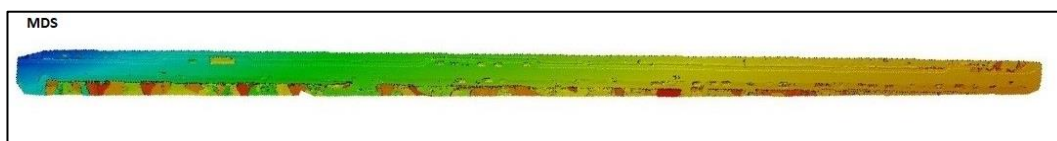


Figura N° 4.27 Modelo digital de superficie

Fuente: Elaboración propia



#### 4.3.4 Identificación y metrado de fallas

Con los productos generados, se procedió 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 3D.

La figura 4.28 muestra la falla piel de cocodrilo identificada en la ortofoto y en el modelo digital 3D. En el programa Pix4dMapper o en CAD se puede determinar los valores de ancho, longitud, o área de cada falla, para poder determinar su cantidad y posteriormente su densidad.

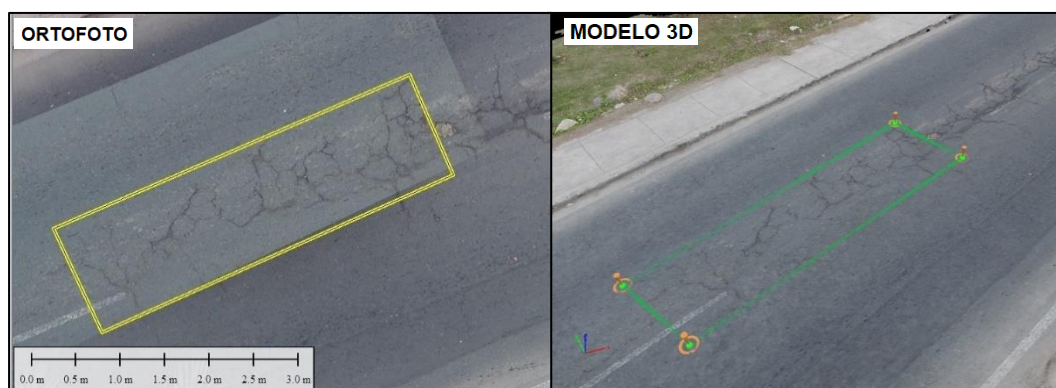


Figura N° 4.28 Falla piel de cocodrilo

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se aprecia en la figura 4.29, la falla tipo parcheo encontrado en la vía producto de obras de saneamiento.



Figura N° 4.29 Falla Parcheo

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.30 se observa fallas tipo huecos encontrados en varias unidades de muestras, el cual evidencia el deterioro grave en el cual se encuentran algunos tramos de las vías y serán reflejados al determinar su índice PCI.

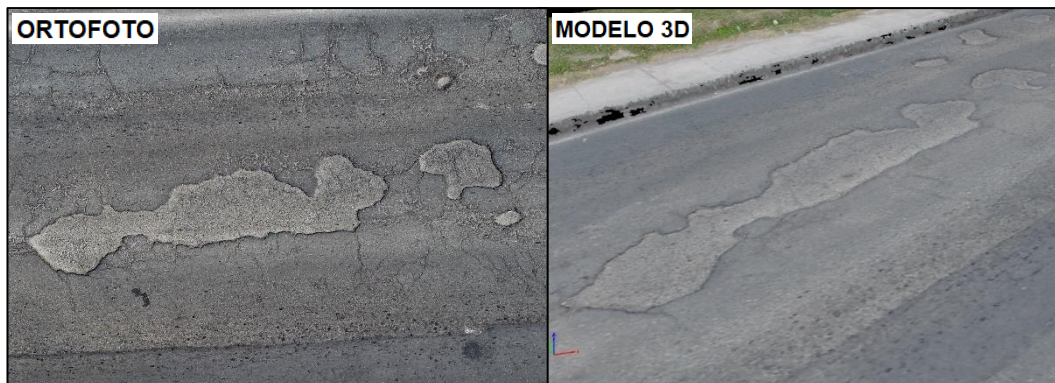


Figura N° 4.30 Falla Huecos

Fuente: Elaboración propia

La ortofoto que se aprecia en la figura 4.31 refleja en resumen el estado de la vía existente y la cantidad de fallas que se han identificado con sus respectivos metros. Además, se puede observar lo laborioso que resulta realizar la inspección en campo y determinar las medidas de cada tipo de falla, lo cual requeriría más personal de campo y por lo tanto mayores costos de mano de obra para obtener un mejor rendimiento.



Figura N° 4.31 Fallas en la vía

Fuente: Elaboración propia

La salida y cuyos formatos de evaluación se muestra en el Anexo 3, tienen la presentación mostrada en la figura 4.32

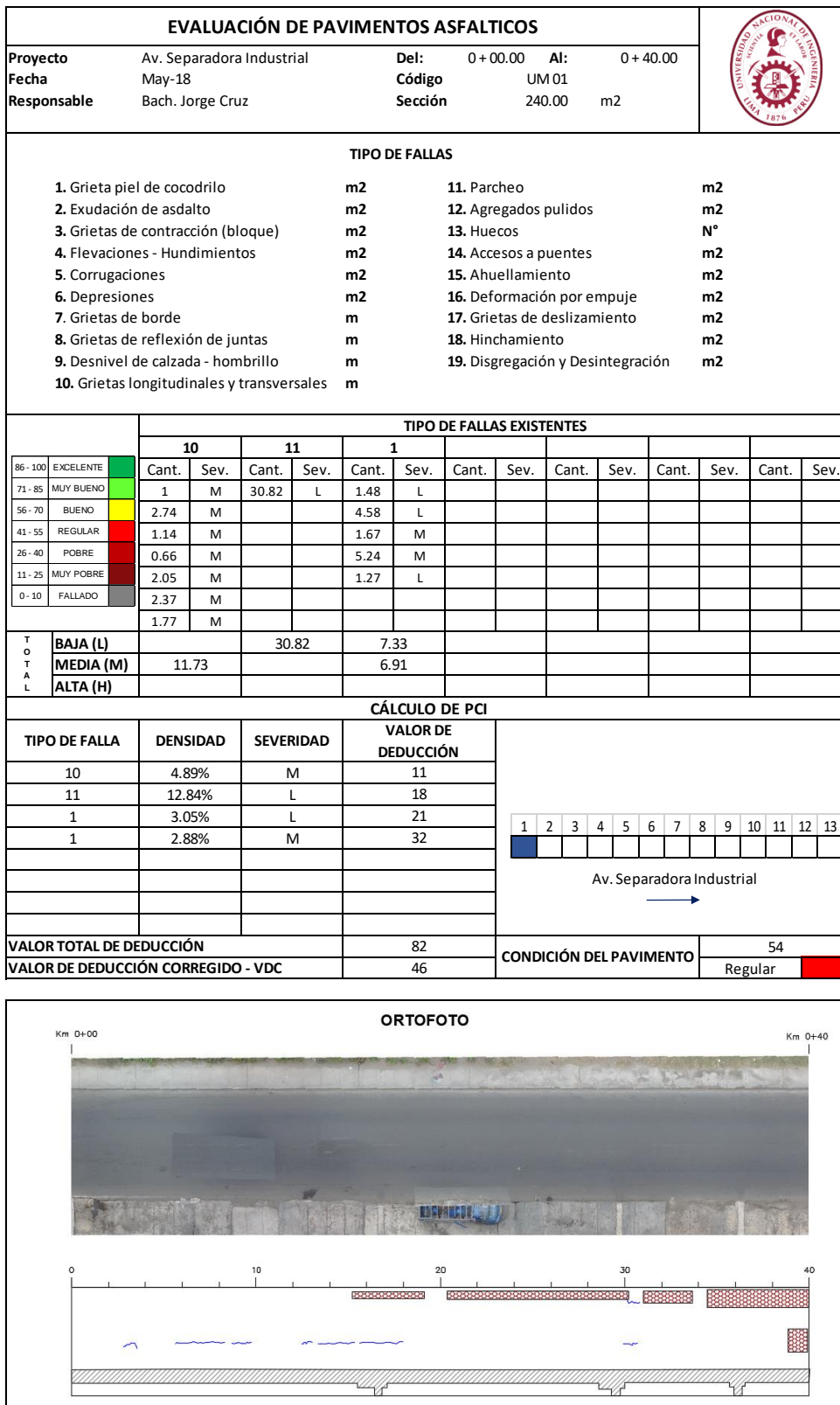


Figura N° 4.32 Fallas en la vía

Fuente: Elaboración propia

La inspección de las 13 unidades de muestra introduciendo los datos de la inspección en una hoja de cálculo determina el PCI. Además, se realizaron planos de fallas de cada unidad de muestra.

A continuación, la tabla 4.3 presenta el resumen de metrado de fallas, obtenido de la evaluación de toda la vía.

Tabla 4.3 Resultados de PCI en unidades de muestra

N°	Tipo de falla	Unidad	Severidad	Metrado
1	Piel de Cocodrilo	m2	Leve	70.64
			Media	214.00
			Alta	21.72
3	Grietas en bloque	m2	Leve	0.00
			Media	8.24
			Alta	0.00
7	Grieta de borde	m	Leve	0.00
			Media	10.08
			Alta	9.98
10	Grietas Longitudinales y Transversales	m	Leve	37.70
			Media	119.22
			Alta	12.86
11	Parcheo	m2	Leve	409.44
			Media	0.00
			Alta	0.00
12	Agregados Pulidos	m2	Leve	0.00
			Media	31.80
			Alta	0.00
13	Huecos	Und	Leve	52.00
			Media	72.00
			Alta	0.00

Fuente: Elaboración propia

Del resumen de metrados de fallas se puede observar que la clase de falla que tiene una mayor extensión es la de "Parcheo", la cual se presenta a lo largo de todo el tramo de estudio. Asimismo, se aprecia la gran cantidad de huecos en la vía como también la gran extensión de falla "Piel de Cocodrilo", lo cual se refleja en la mala condición existente en toda la vía.



La tabla 4.4 muestra los resultados de la inspección en cada unidad de muestra, como la condición global de la vía. En la figura 4.33 se aprecia el mapa global de la condición de la vía evaluada en tramos.

Tabla 4.3 Resumen de metrado de fallas

Unidad de muestra	Area (m2)	PCI	Clasificación	PCI promedio	Estado de la vía
001	240	54	Regular	29	Pobre
002	240	12	Muy Pobre		
003	240	39	Pobre		
004	240	10	Muy Pobre		
005	240	18	Muy Pobre		
006	240	42	Regular		
007	240	32	Pobre		
008	240	44	Regular		
009	240	24	Muy Pobre		
010	240	25	Muy Pobre		
011	240	12	Muy Pobre		
012	240	11	Muy Pobre		
013	180	58	Bueno		

Fuente: Elaboración propia

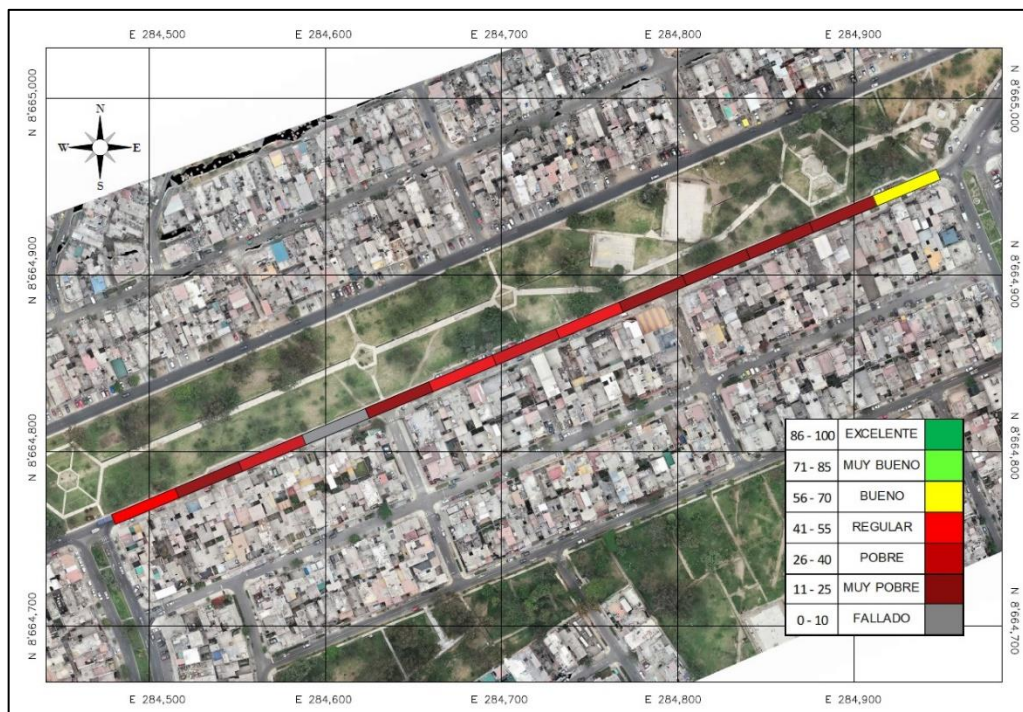


Figura N° 4.33 Mapa general del estado de la vía

Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura 4.34 muestra el perfil de los índices de condición de pavimento de toda la vía en estudio.

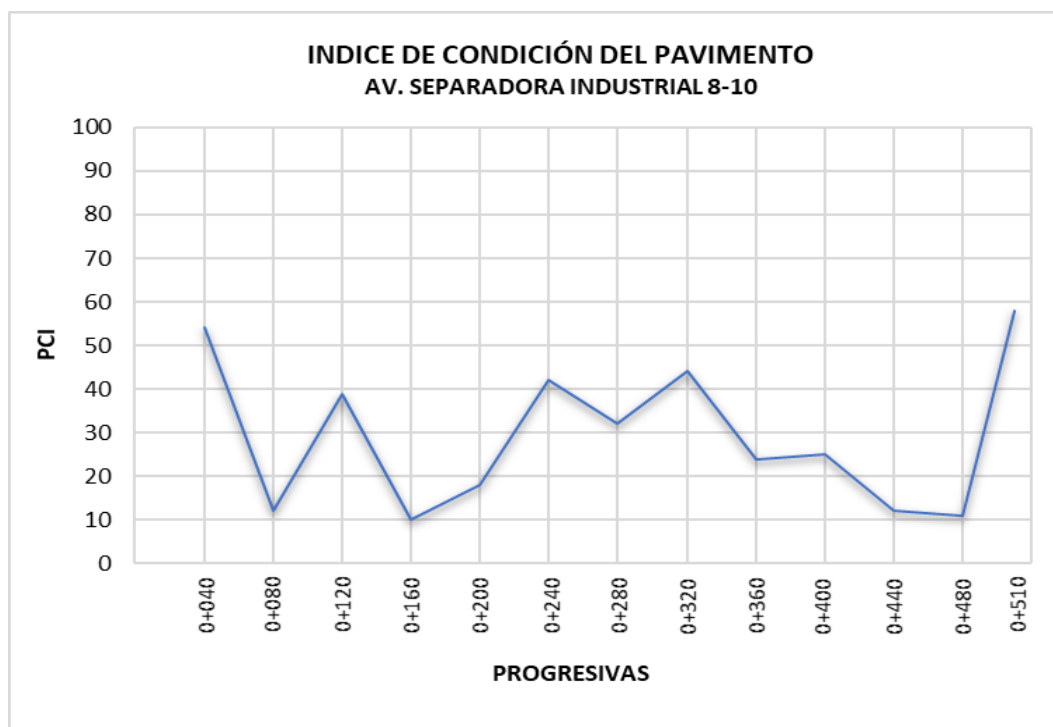


Figura N° 4.34 Perfil del PCI en vía de estudio

Fuente: Elaboración propia

Se logra determinar que la vía evaluada presenta una condición global de pavimento pobre, con lo cual el pavimento no brinda condiciones adecuadas para los usuarios y requiere ser intervenido inmediatamente, ya que varios tramos están a punto de entrar a la condición fallado.

No se observaron fallas como ahuellamientos o depresiones que reflejan un problema estructural en la vía, por lo cual se debe realizar una evaluación estructural en la vía a fin de determinar si la vía solo requiere una rehabilitación mayor, es decir el reemplazo de la carpeta asfáltica existente o una reconstrucción.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La tabla 5.1 presenta los resultados de PCI obtenidos en los dos métodos realizados.

Tabla 5.1 Resultados método PCI y VANT

Unidad de muestra	Area (m2)	PCI convencional	VANT PCI	Diferencia
UM 01	240	54	54	0
UM 03	240	36	39	3
UM 05	240	18	18	0
UM 07	240	40	32	-8
UM 09	240	26	24	-2
UM 11	240	18	12	-6
UM 13	240	59	58	-1

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los valores de PCI son bastante cercanos, lo cual valida el método VANT como una alternativa de evaluación superficial del pavimento mediante imágenes georreferenciadas.

En relación a los rendimientos para el relevamiento de las fallas en campo, se evaluaron 7 unidades de muestra en 5 horas y media con el método convencional con un personal constituido por 3 personas. Mientras que, con el método VANT se evaluó toda la vía de 510 metros en sólo 7 minutos con un personal conformado por 1 operador/piloto y un asistente. Esto demuestra una gran ventaja al emplear VANT con respecto al método convencional al poder evaluar completamente toda la vía en corto tiempo, sin determinar unidades mínimas de muestra o muestras adicionales, lo que genera menos costo de inspección.

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

La obtención de imágenes de alta resolución permite la identificación de las fallas del pavimento de manera rápida y segura; además, con los productos obtenidos

se pueden determinar las medidas de longitud, área y profundidad para establecer su severidad y densidad.

Se pueden elaborar planos de fallas más precisos indicando el lugar de cada falla con sus respectivos metrados para su posterior mantenimiento.

Es importante mencionar que la data relevada puede ser analizada cuantas veces sea necesaria sin necesidad de realizar otro vuelo, además, permite en el tiempo poder observar la evolución y aparición de nuevas fallas para tomar las decisiones correctivas adecuadas.

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



## CONCLUSIONES

- El uso del vehículo aéreo no tripulado permite el levantamiento de información en corto tiempo, sin interrumpir el tráfico ni poner en riesgo la vida de los inspectores en comparación con el método convencional.
- Empleando VANT como herramienta de inspección, evalúa completamente la vía sin determinar unidades de muestra mínima ni intervalos de muestra adicionales, lo que refleja la realidad del problema con fidelidad y seguridad.
- El método VANT permite reducir el personal de campo en comparación con el método tradicional y por consecuencia, minimiza los costos de evaluación.
- El uso de las imágenes georreferenciadas permite ubicar cada falla y su metrado correspondiente que articula como insumo con el método Pavement Condition Index (PCI).
- La información relevada mediante VANT 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.
- La evaluación superficial de pavimentos empleando imágenes georreferenciadas es conveniente para gestionar actividades de mantenimiento y/o rehabilitación de las vías urbanas.

## RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar el plan de vuelo con anticipación 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.
- Se sugiere realizar el inventario de fallas en periodos de 6 a 12 meses, con la finalidad de monitorear la aparición de nuevos daños.
- Comprobar la metodología en otros tipos de pavimentos, que perfeccione el proceso y ajuste el algoritmo de interpretación de vistas georreferenciadas.
- Es importante que el evaluador del pavimento este familiarizado con los tipos de fallas, sus niveles de severidad y las formas de medición establecidas en el método.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Apolinario Morales, E. W. Innovación del Método VIZIR en estrategias de Conservación y Mantenimiento de Carreteras con bajo volumen de tránsito. Lima-Perú. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería de Transportes FIC-UNI, 2012.
- [2] Benito Carrasco, J.A., Integración de un UAV (Vehículo aéreo no tripulado) en la plataforma robótica ARGOS. Universidad Autónoma de Madrid. 2015.
- [3] Bernal Sandoval, V., Diseño y fabricación de un vehículo aéreo no tripulado para aplicaciones de monitoreo y abastecimiento. Tesis profesional, Instituto Tecnológico de los Mochis. México, 2016.
- [4] Bernaola Chuquillanqui R. J., Evaluación y determinación del Índice de Condición del Pavimento Rígido en la Av. Huancavelica, distrito de Chilca, Huancayo. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil. Universidad Nacional del Centro, Huancayo-Perú, 2014.
- [5] Cabañas Bueno, J.A., Guía de mantenimiento y reparación de drones RPAS. Ediciones Paraninfo, Madrid – España, 2018.
- [6] Chang Albitres, C. M. Evaluación, diseño, construcción, gestión: pavimentos, un enfoque al futuro. Editorial ICG, Lima – Perú, 2005.
- [7] D6433–16 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. American Society of Testing and Materials (ASTM), USA, 2016.
- [8] Gutiérrez Lazares, J. W. Compilación de diapositivas del curso de Mecánica de suelos aplicada a vías de transporte, UNI.FIC, Lima, 2017.
- [9] Gutiérrez Lazares, J. W. Mecánica de Suelos Aplicada a las Vías de Transportes. Editorial Macro, Lima – Perú, 2016.
- [10] Gutiérrez Lazares, J. W. Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica FIC-UNI, 2007.
- [11] Instituto Nacional de Vías. Manual de inspección visual de pavimentos flexibles. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2006.

- [12] Jugo Burguera, A. Manual de Mantenimiento y Rehabilitación de pavimentos flexibles. Caracas - Venezuela, 2005.
- [13] Leguía Loarte P. B. y Pacheco Risco H. F., Evaluación Superficial del pavimento flexible por el Método Pavement Condition Index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colon y Miguel Grau – Huacho – Huaura – Lima. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil, Lima, 2016.
- [14] Manual de Mantenimiento o Conservación Vial, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú, 2014.
- [15] Martínez Carricondo P. J., Técnicas fotogramétricas desde vehículos aéreos no tripulados aplicadas a la obtención de productos cartográficos para la Ingeniería Civil. Tesis Doctoral. Universidad de Almería, España, 2016.
- [16] Menéndez Acurio, J.R. Ingeniería de Pavimentos, 5ta edición, Editorial ICG, Lima – Perú, 2016.
- [17] Plan estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España 2018-2021, Ministerio de Fomento, España, 2018.
- [18] Provias Nacional. [www.proviasnac.gob.pe/](http://www.proviasnac.gob.pe/)
- [19] Rondón Quintana H. A. & Reyes Lizcano F. A. Pavimentos: Materiales, construcción y diseño. ECOE Ediciones, Colombia, 2015.
- [20] Sotil Chávez, A. Sistematización de información sobre diseño, gestión, construcción y reparación de Pavimentos Urbanos, Sencico, Lima – Perú, 2012.
- [21] Vásquez Palma V. E. y Chamorro Castillo P. S., Implementación de un SIG para la administración de Pavimentos Aeroportuarios a través de la aplicación de un Índice de Condición de Pavimentos. Tesis para obtener el grado de Ingeniero de ejecución en Geomensura. Universidad de Santiago de Chile, 2005.
- [22] Vásquez Varela, L. R., Pavement Index Condition (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. Colombia, 2002.
- [23] Zhang, C. An unmanned aerial vehicle-based imaging system for 3D measurement of unpaved road surface distresses. Estados Unidos, 2012.

## ANEXO 1. Catálogo de fallas en pavimentos Flexibles

El procedimiento estándar para la inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamiento ASTM D6433 establece 19 tipos de fallas para el pavimento flexible. La siguiente tabla muestra el número de falla, nombre y unidad empleada para el revelamiento.

Tabla Catalogo de Fallas del pavimento flexible para el método PCI

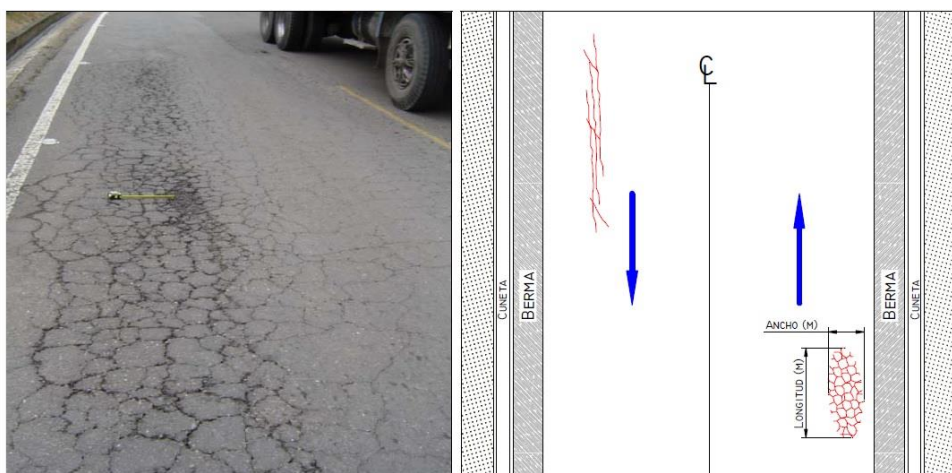
FALLA N°	DESCRIPCIÓN	UND
1	Piel de Cocodrilo	m <sup>2</sup>
2	Exudación de asfalto	m <sup>2</sup>
3	Grietas en bloque	m <sup>2</sup>
4	Elevación - hundimiento	m <sup>2</sup>
5	Corrugaciones	m <sup>2</sup>
6	Depresiones	m <sup>2</sup>
7	Grietas de borde	m
8	Grietas de reflexión de juntas	m
9	Desnivel carril - berma	m
10	Grietas longitudinal y transversal	m
11	Parqueo en zanjas reparadas	m <sup>2</sup>
12	Agregados pulidos	m <sup>2</sup>
13	Huecos	N°
14	Cruce de rieles*	m
15	Ahuellamiento	m <sup>2</sup>
16	Desplazamiento	m <sup>2</sup>
17	Grietas de deslizamiento	m <sup>2</sup>
18	Hinchamiento	m <sup>2</sup>
19	Desprendimiento de agregados	m <sup>2</sup>

Fuente: ASTM D6433-16

\*Reemplazar por acceso de puentes, pontones y rejillas de drenaje

## 1. Piel de Cocodrilo

- a) 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 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 la piel de cocodrilo. Este tipo de falla ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento como se observa en la figura.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

- b) Nivel de severidad:

Leve: Grietas finas 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.

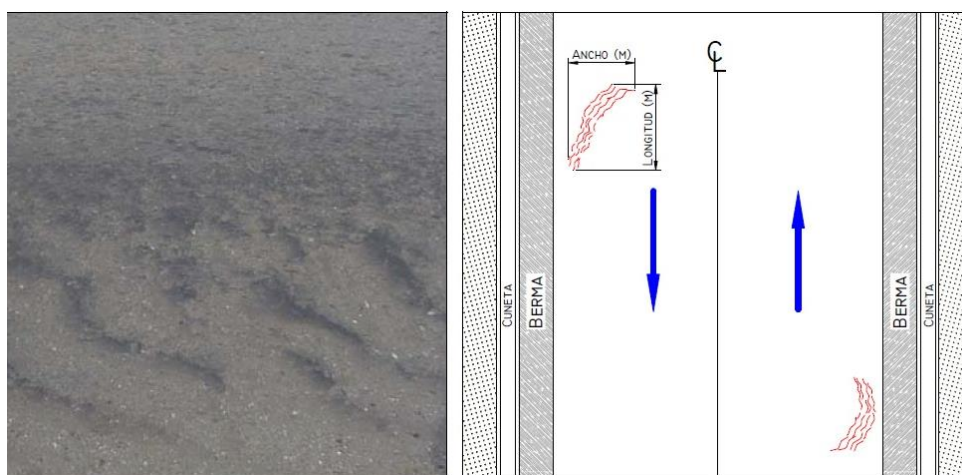
Medio: Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.

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.

- c) Medición: Se miden en metros cuadrados ( $m^2$ ) de área afectada. Si dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada deben medirse y registrarse separadamente.

## 2. Exudación

- a) Descripción: 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. Se origina 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, y al no ser reversible durante el tiempo, el asfalto se acumulará en la superficie como se aprecia en la figura.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

- b) Nivel de severidad:

Leve: La exudación se hace visible en la superficie, aunque en franjas aisladas y de espesor delgado que no cubre los agregados gruesos.

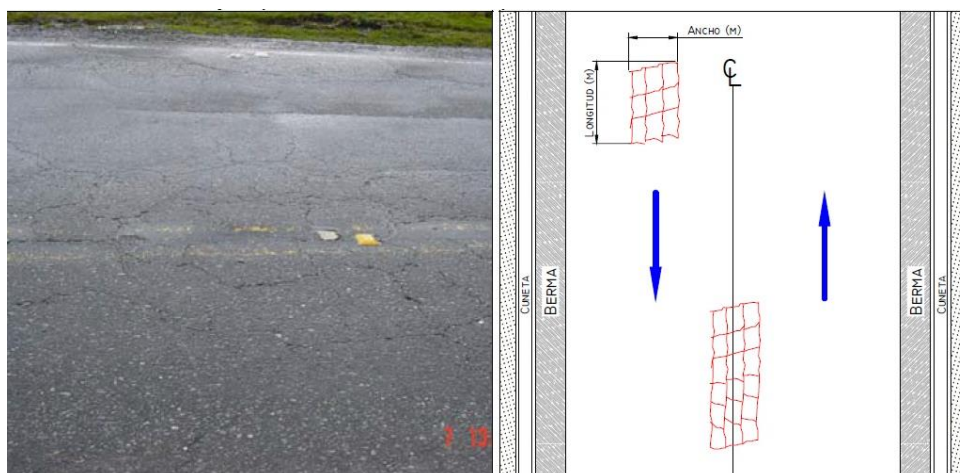
Medio: Apariencia característica, con exceso de asfalto libre que conforma una película que cubre parcialmente los agregados, con frecuencia localizada en las huellas del tránsito; se torna pegajoso en los climas cálidos.

Alto: Presencia de una cantidad significativa de asfalto en la superficie cubriendo casi la totalidad de los agregados, lo que le da un aspecto húmedo de intensa coloración negra y se torna pegajoso en los zapatos y vehículos.

- c) Medición: se mide en metros cuadrados ( $m^2$ ). Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

### 3. Grietas en bloque

- a) Descripción: son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares y sus dimensiones pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.30 m a 3.0 m x 3.0 m. Se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos diarios de temperatura. Estas grietas 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. Además, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares como se muestra en la figura.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

- b) Nivel de severidad:

Leve: Los bloques se han comenzado a formar, pero no están claramente definidos y están conformados por fisuras de abertura menor que 1 mm, cerradas o con sello, no presentan descascaramiento en los bordes



Media: Bloques definidos por fisuras de abertura entre 1 mm y 3 mm, o con sello fallado, pueden presentar descascaramiento en los bordes.

Alto: Bloques bien definidos por fisuras de abertura mayor que 3 mm, que pueden presentar un alto descascaramiento en los bordes.

- c) Medición: Se registra el área de superficie de pavimento afectada en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

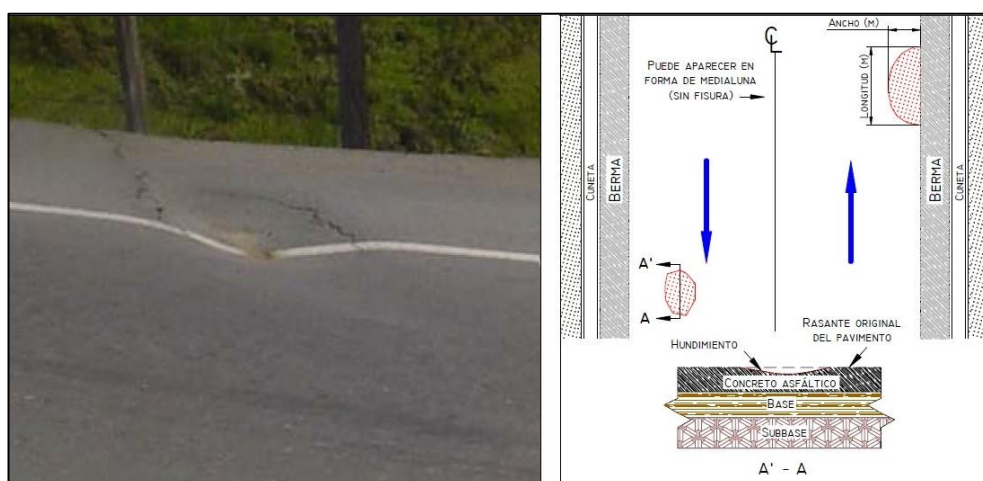
#### 4. Abultamientos y Hundimientos

- a) Descripción: Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento como se aprecia en la figura. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables.

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento como se puede observar en la figura.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006



b) Nivel de severidad:

Leve: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad. Profundidad menor que 20 mm, causa poca vibración al vehículo, sin generar incomodidad al conductor.

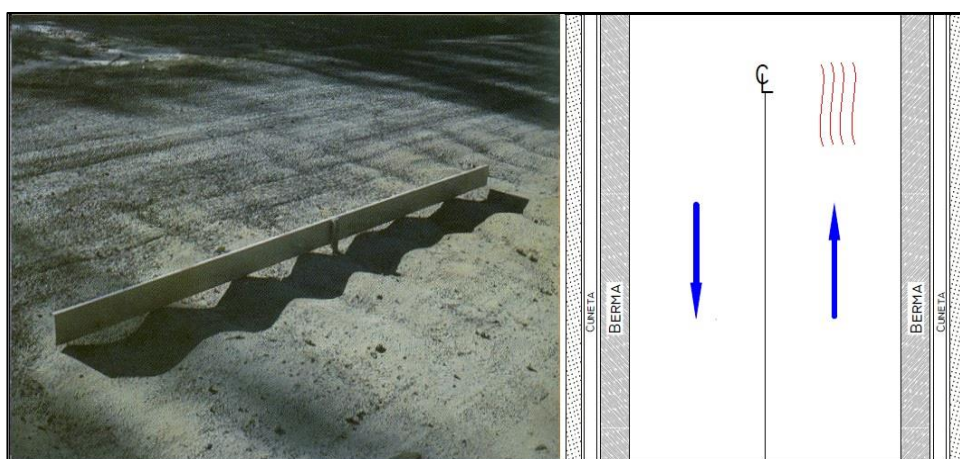
Media: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media. Profundidad entre 20 mm y 40 mm, causa mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor

Alta: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta. Profundidad mayor que 40 mm, causa vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad.

c) Medición: Se miden en metros lineales (m).

**5. Corrugación**

a) Descripción: La corrugación 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 como se muestra en la figura. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestable.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

b) Nivel de severidad:

Leve: Corrugaciones con profundidad máxima menor que 10 mm, causa poca vibración al vehículo, la cual no genera incomodidad al conductor.

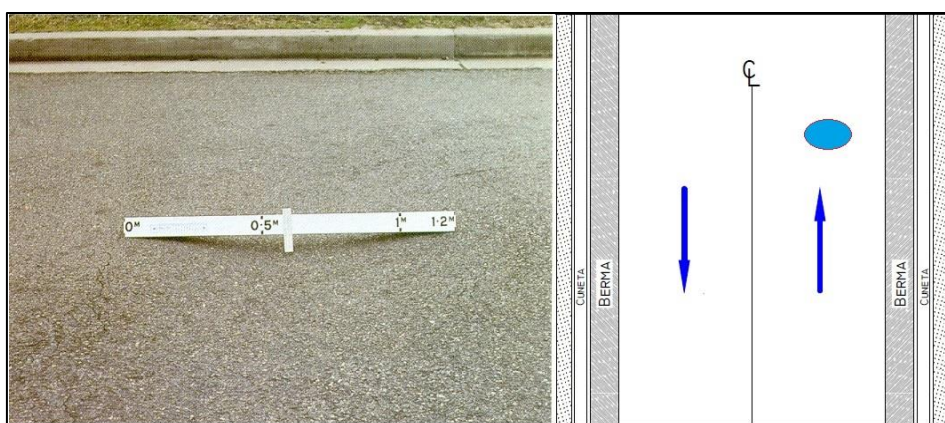
Medio: Corrugaciones con profundidad máxima entre 10 mm y 20 mm, causa una mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor.

Alta: Corrugaciones con profundidad máxima mayor que 20 mm, causa una vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad.

- c) Medición: Se mide en metros cuadrados ( $m^2$ ) de área afectada.

## 6. Depresión

- a) Descripción: Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor como se puede apreciar en la figura. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros”. 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 hidropneumático.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

- b) Nivel de severidad:

Leve: Profundidad entre 13.0 a 25.0 mm.

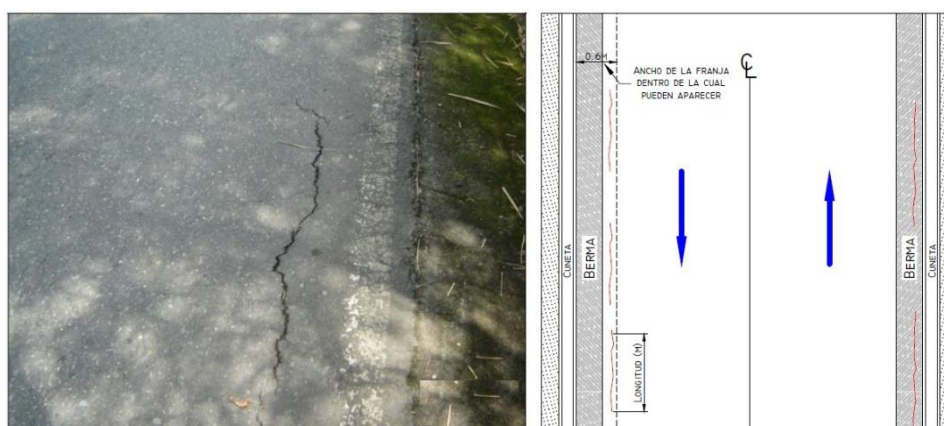
Media: Profundidad entre 25.0 a 51.0 mm.

Alto: Profundidad más de 51.0 mm.

- c) Medición: Se mide en metros cuadrados ( $m^2$ ) de área afectada.

## 7. Grieta de borde

- a) 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 como se observa en la figura. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento de la base o 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.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

- b) Nivel de severidad:
- Leve: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.
  - Media: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.
  - Alto: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.
- c) Medición: La grieta de borde se mide en metros lineales (m).

## 8. Grieta de reflexión de junta

- a) Descripción: Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Portland. 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 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.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

b) Nivel de severidad:

Leve: Grieta sin relleno de ancho menor que 10mm.

Media: Grieta sin relleno con ancho entre 10mm y 76mm; así como grietas sin relleno de cualquier ancho hasta 76mm y grietas rellenas de cualquier ancho rodeado de un ligero agrietamiento.

Alta: Se pueden presentar grietas rellenas o no, rodeadas de agrietamiento aleatorio de media a alta severidad, y también grietas sin relleno mayor de 76 mm.

c) Medición: La grieta de reflexión de junta se mide en metros lineales (m). La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado. Por ejemplo, una grieta de 15m puede tener 3m de grietas de alta severidad y el resto de otras, y si existiera un abultamiento, también debe registrarse

### 9. Desnivel carril – berma

a) Descripción: El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma como se muestra en la figura. 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.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

b) Nivel de severidad:

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

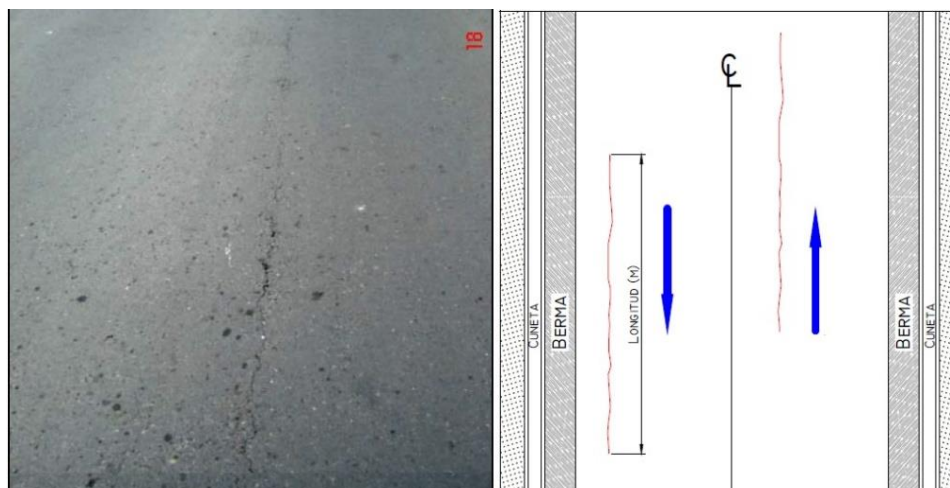
Media: La diferencia está entre 51.0 mm y 102.0 mm.

Alta: La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm.

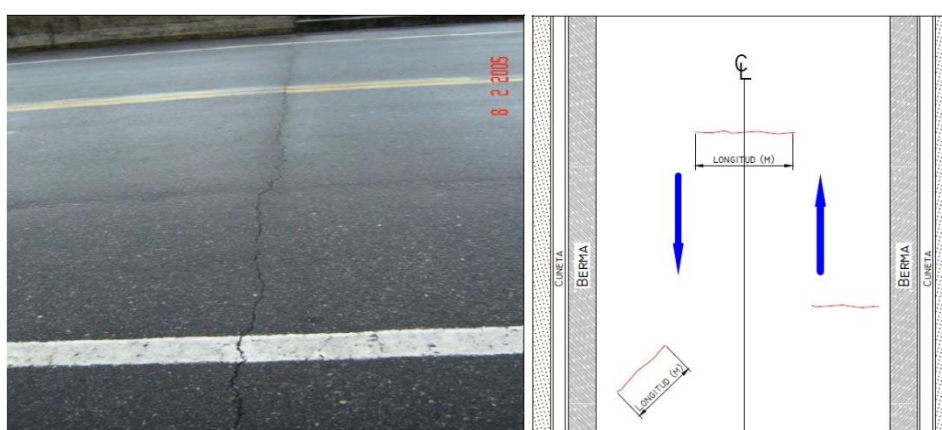
c) Medición: El desnivel carril / berma se miden en metros lineales (m).

### **10. Grietas longitudinales y transversales**

a) Descripción: Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción como se observa en la figura, pueden ser causadas por: una junta de carril del pavimento pobremente construida, contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura, una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto. Las grietas transversales generalmente asociados con carga, se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

b) Nivel de severidad:

Leve: Abertura menor que 1 mm, cerrada o con sello en buen estado.

Media: Abertura entre 1 mm y 3 mm, pueden existir algunas fisuras con patrones irregulares de severidad baja en los bordes o cerca de ellos y pueden presentar descascaramientos leves; existe una alta probabilidad de infiltración de agua a través de ellas.

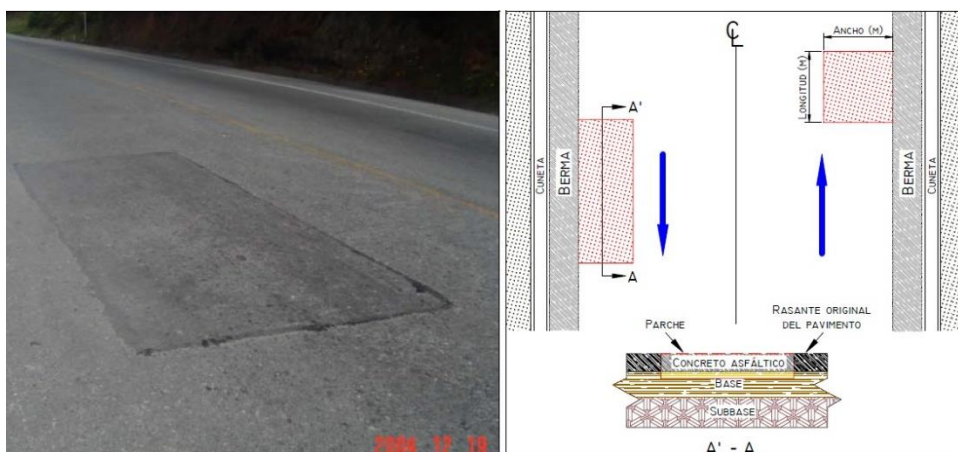
Alto: Abertura mayor que 3 mm, pueden presentar descascaramientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos.

c) Medición: Las grietas longitudinales y transversales se miden en metros lineales (m). 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.

### 11. Parcheo por zanjas reparadas

- a) Descripción: Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente como se aprecia en la figura. 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.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

- b) Nivel de severidad:
- Leve: El parche está en muy buena condición y se desempeña satisfactoriamente.
- Media: El parche presenta daños de severidad baja o media y deficiencias en los bordes.
- Alto: El parche está gravemente deteriorado, presentan daños de severidad alta y requiere ser reparado pronto.
- c) Medición: Los parches se miden en metros cuadrados ( $m^2$ ) de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada.

### 12. Pulimento de agregados

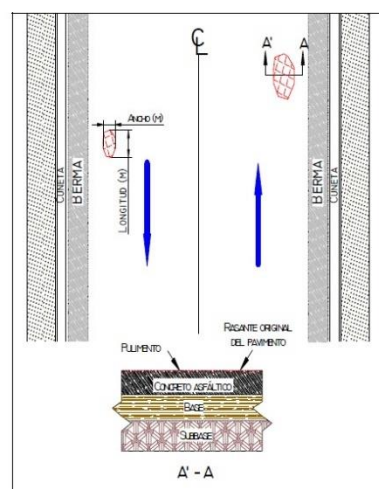
- a) Descripción: Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia



con las llantas del vehículo se reduce considerablemente, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo como se observa en la figura. 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.



Nota: Tomado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program.



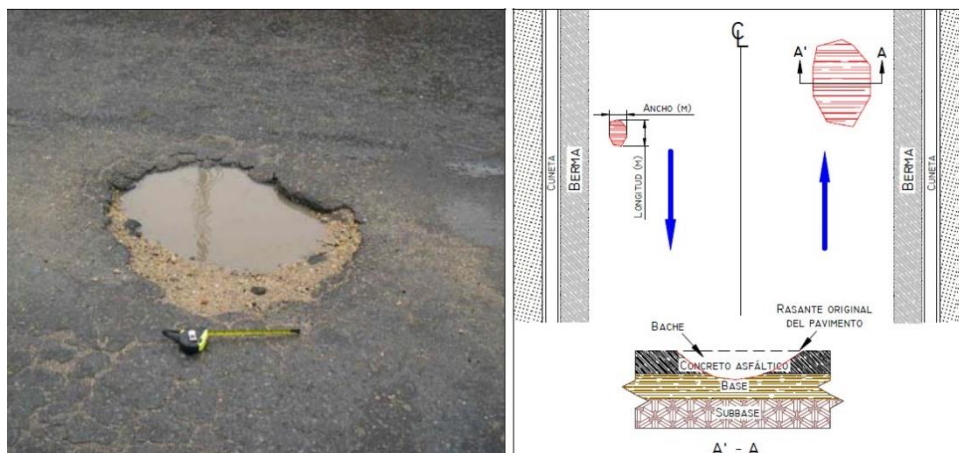
Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

- b) Nivel 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.
- c) Medición: Se mide en metros cuadrados de área afectada. Si se contabiliza exudación, no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados

### 13. Huecos

- a) 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. Se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento y el crecimiento se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. 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 como se observa en la siguiente figura.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

b) Niveles de severidad:

Leve: profundidad de afectación menor o igual que 25 mm, corresponde al desprendimiento de tratamientos superficiales o capas delgadas.

Media: profundidad de afectación entre 25 mm y 50 mm, deja expuesta la base.

Alto: profundidad de afectación mayor que 50 mm, que llega a afectar la base granular.

c) Medición: Se miden en unidades de fallas, contando aquellos que sean de diferentes tipos de severidades.

**14. Cruce de vía férrea**

a) Descripción: Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles como se aprecia en la figura.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

b) Niveles de severidad:

Leve: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.

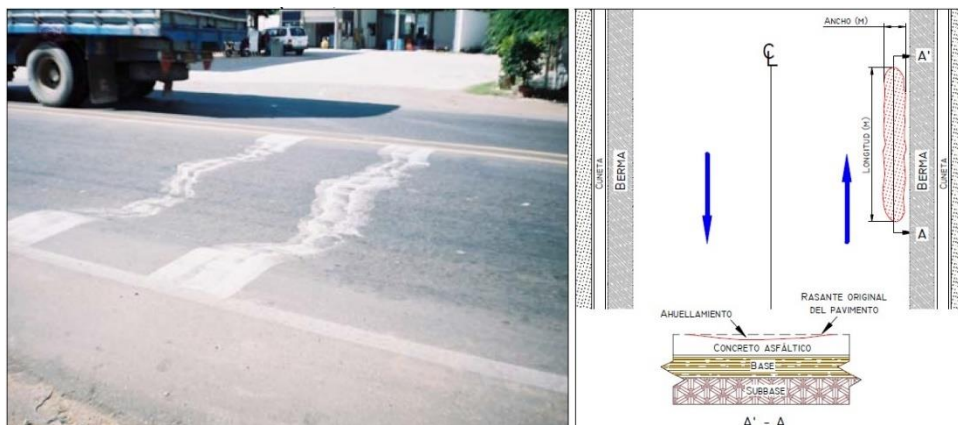
Media: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.

Alto: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.

c) Medición: El área del cruce se mide en metros cuadrados ( $m^2$ ) 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.

### 15. Ahuellamiento

- a) Descripción: El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas como se aprecia en la figura, 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.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

b) Niveles de severidad:

Leve: Profundidad de 6 a 13 mm.

Media: Profundidad de 13 a 25 mm.

Alto: Profundidad mayor a 25 mm.

- c) Medición: El ahuellamiento se mide en 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.

**16. Desplazamiento**

- a) 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 como se muestra en la figura.



Fuente: <http://www.pavementinteractive.org/general-guidancepavement-distress>

b) Niveles de severidad:

Leve: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad

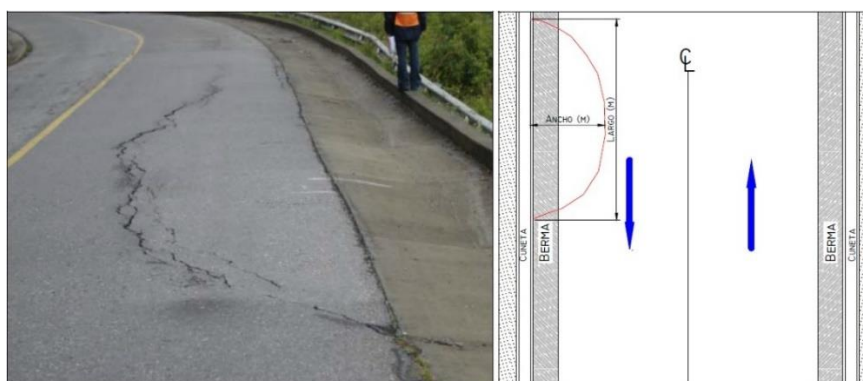
Media: El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

Alto: El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

c) Medición: Los desplazamientos se miden en metros cuadrados ( $m^2$ )

**17. Grietas Parabólicas**

- a) Descripción: Las grietas parabólicas son grietas en forma de media luna creciente como se aprecia en la figura, 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.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

b) Niveles de severidad:

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

Media: Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm.

Alto: Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.

c) Medición: Los desplazamientos se miden en metros cuadrados ( $m^2$ )

**18. Hinchamiento**

- a) Descripción: El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento como se observa en la figura; una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m., puede estar acompañado de



agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

b) Niveles de severidad:

Leve: El hinchamiento causa calidad de tránsito 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.

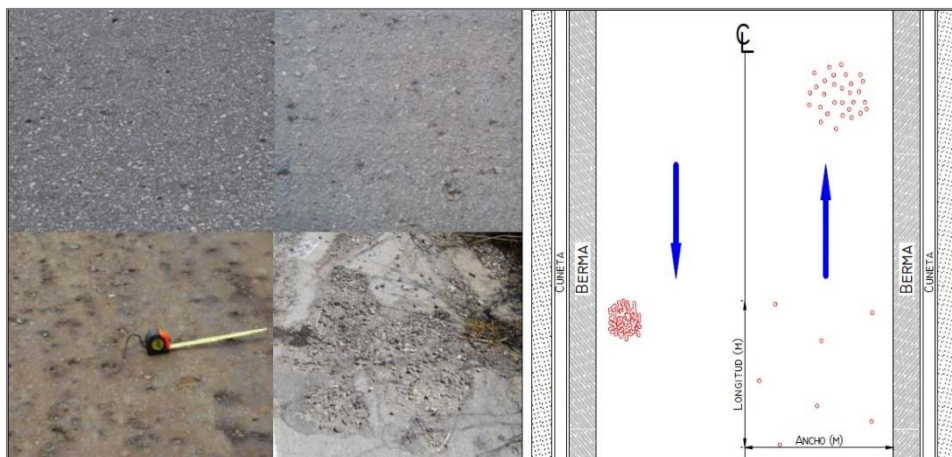
Medía: El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

Alto: El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

c) Medición: El hinchamiento se mide en metros cuadrados ( $m^2$ ) de área afectada.

### 19. Desprendimiento de agregados

a) 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 como se muestra en la figura. 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.



Fuente: Instituto Nacional de vías, Colombia 2006

b) Niveles de severidad:


Leve: Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. Los agregados gruesos han comenzado a desprenderse y se observan pequeños huecos cuya separación es mayor a 0.15 m.

Media: Se han perdido los agregados o el ligante con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.


Alto: Existe desprendimiento extensivo de agregados finos y gruesos con separaciones menores a 0.05 m, haciendo la superficie muy rugosa y se observan agregados sueltos.

c) Medición: Se miden en metros cuadrados ( $m^2$ ) de área afectada.

## ANEXOS 2.- Inspección y PCI

EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS															
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial				<b>Del:</b>	0 + 00.00		<b>Al:</b>	0 + 40.00						
<b>Fecha</b>	May-18				<b>Código</b>	UM 01									
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz				<b>Sección</b>	240.00		m2							
<b>TIPO DE FALLAS</b>															
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2									
2. Exudación de asfalto		m2		12. Agregados pulidos		m2									
3. Grietas de contracción (bloque)		m2		13. Huecos		N°									
4. Flevaciones - Hundimientos		m2		14. Accesos a puentes		m2									
5. Corrugaciones		m2		15. Ahuellamiento		m2									
6. Depresiones		m2		16. Deformación por empuje		m2									
7. Grietas de borde		m		17. Grietas de deslizamiento		m2									
8. Grietas de reflexión de juntas		m		18. Hinchamiento		m2									
9. Desnivel de calzada - hombrillo		m		19. Disgregación y Desintegración		m2									
10. Grietas longitudinales y transversales		m													
<b>TIPO DE FALLAS EXISTENTES</b>															
		<b>11</b>		<b>1</b>		<b>10</b>									
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
86 - 100	EXCELENTE														
71 - 85	MUY BUENO	26.8	1	3.38	2	8.15	1								
56 - 70	BUENO	1.16	1	3.79	2										
41 - 55	REGULAR	1.18	1	8.2	1										
26 - 40	POBRE														
11 - 25	MUY POBRE														
0 - 10	FALLADO														
<b>T O T A L</b>	<b>BAJA (L)</b>	29.14		8.2											
	<b>MEDIA (M)</b>			7.17		8.15									
	<b>ALTA (H)</b>														
<b>CÁLCULO DE PCI</b>															
<b>TIPO DE FALLA</b>		<b>DENSIDAD</b>		<b>SEVERIDAD</b>		<b>VALOR DE DEDUCCIÓN</b>									
11		12.14%		L		17									
1		3.42%		L		22									
1		2.99%		M		32									
10		3.40%		M		9									
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>						80		<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b>			54				
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>						46					Regular <span style="color: red;">■</span>				




EVALUACIÓN DE PAVMIENTOS ASFALTICOS															
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial			<b>Del:</b>	0 + 80.00		<b>Al:</b>	0 + 120.00							
<b>Fecha</b>	May-18			<b>Código</b>	UM 03										
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz			<b>Sección</b>	240.00 m2										
<b>TIPO DE FALLAS</b>															
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2		2. Exudación de asfalto		m2		12. Agregados pulidos		m2	
3. Grietas de contracción (bloque)		m2		13. Huecos		N°		4. Flevaciones - Hundimientos		m2		14. Accesos a puentes		m2	
5. Corrugaciones		m2		15. Ahuellamiento		m2		6. Depresiones		m2		16. Deformación por empuje		m2	
7. Grietas de borde		m		17. Grietas de deslizamiento		m2		8. Grietas de reflexión de juntas		m		18. Hinchamiento		m2	
9. Desnivel de calzada - hombrillo		m		19. Disgregación y Desintegración		m2		10. Grietas longitudinales y transversales		m					
<b>TIPO DE FALLAS EXISTENTES</b>															
		<b>11</b>		<b>1</b>		<b>10</b>		<b>3</b>							
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
86 - 100	EXCELENTE	1.9	M	12.13	L	7.02	L	9.52	M						
71 - 85	MUY BUENO	0.98	M	5.68	H	1.06	L								
56 - 70	BUENO	1.16	L	2.63	L	1.10	M								
41 - 55	REGULAR	1.12	L	1.26	L	2.02	L								
26 - 40	POBRE	25.3	L	2.96	L										
11 - 25	MUY POBRE	1.16	L	7.88	L										
0 - 10	FALLADO														
TOTAL	<b>BAJA (L)</b>	28.74		26.86		10.1									
	<b>MEDIA (M)</b>	2.88				1.10		9.52							
	<b>ALTA (H)</b>			5.68											
<b>CÁLCULO DE PCI</b>															
<b>TIPO DE FALLA</b>		<b>DENSIDAD</b>		<b>SEVERIDAD</b>		<b>VALOR DE DEDUCCIÓN</b>									
11		11.98%		L		18									
11		1.20%		M		10									
1		11.19%		L		33									
1		2.37%		H		42									
10		4.21%		L		9.5									
10		0.46%		M		5									
3		3.97%		M		9									
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>						126.5		<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b>				36			
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>						64		<b>Pobre</b>							

EVALUACIÓN DE PAVMIENTOS ASFALTICOS															
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial				<b>Del:</b>	0 + 160.00		<b>Al:</b>	0 + 200.00						
<b>Fecha</b>	May-18				<b>Código</b>	UM 05									
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz				<b>Sección</b>	240.00		m2							
<b>TIPO DE FALLAS</b>															
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2		2. Exudación de asfalto		m2		12. Agregados pulidos		m2	
3. Grietas de contracción (bloque)		m2		13. Huecos		N°		4. Flevaciones - Hundimientos		m2		14. Accesos a puentes		m2	
5. Corrugaciones		m2		15. Ahuellamiento		m2		6. Depresiones		m2		16. Deformación por empuje		m2	
7. Grietas de borde		m		17. Grietas de deslizamiento		m2		8. Grietas de reflexión de juntas		m		18. Hinchamiento		m2	
9. Desnivel de calzada - hombrillo		m		19. Disgregación y Desintegración		m2		10. Grietas longitudinales y transversales		m					
<b>TIPO DE FALLAS EXISTENTES</b>															
		<b>11</b>		<b>1</b>		<b>10</b>		<b>7</b>		<b>13</b>					
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
86 - 100	EXCELENTE	28	L	6.98	M	2.6	M	2.12	M	26	L				
71 - 85	MUY BUENO	1.16	L	2.24	M	1.86	M								
56 - 70	BUENO	1.12	L	1.92	M	1.58	M								
41 - 55	REGULAR			4.78	H	7.32	H								
26 - 40	POBRE			3.8	M										
11 - 25	MUY POBRE			5.66	M										
0 - 10	FALLADO														
TOTAL	<b>BAJA (L)</b>	30.28								26					
	<b>MEDIA (M)</b>			20.6		6.04		2.12							
	<b>ALTA (H)</b>			4.78		7.32									
<b>CÁLCULO DE PCI</b>															
<b>TIPO DE FALLA</b>		<b>DENSIDAD</b>		<b>SEVERIDAD</b>		<b>VALOR DE DEDUCCIÓN</b>									
11		12.62%		L		18									
1		8.58%		M		46									
1		1.99%		H		32									
10		2.52%		M		6									
10		3.05%		H		17									
7		0.88%		M		2									
13		10.83%		L		100									
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>						221								18	
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>						82				<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b>		Muy Pobre			


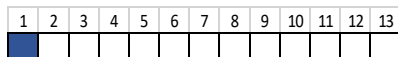
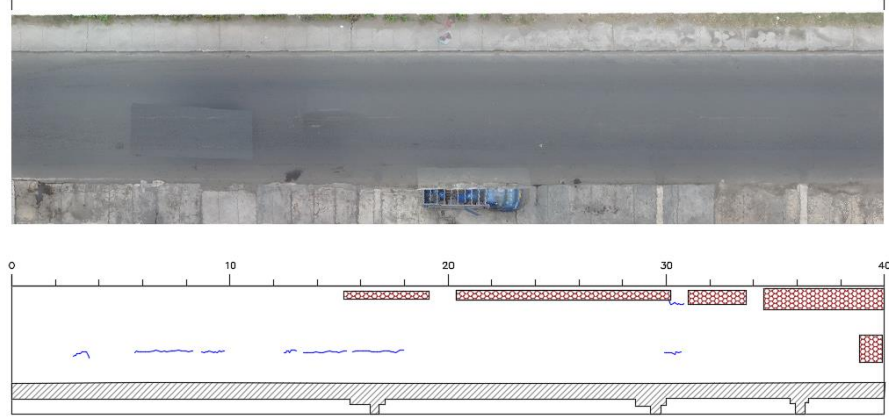




EVALUACIÓN DE PAVMIENTOS ASFALTICOS																
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial				<b>Del:</b>	0 + 400.00		<b>Al:</b>	0 + 440.00							
<b>Fecha</b>	May-18				<b>Código</b>	UM 11		<b>Sección</b>	240.00 m2							
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz				<b>Sección</b>	240.00		m2								
<b>TIPO DE FALLAS</b>																
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2		2. Exudación de asfalto		m2		12. Agregados pulidos		m2		
3. Grietas de contracción (bloque)		m2		13. Huecos		N°		4. Flevaciones - Hundimientos		m2		14. Accesos a puentes		m2		
5. Corrugaciones		m2		15. Ahuellamiento		m2		6. Depresiones		m2		16. Deformación por empuje		m2		
7. Grietas de borde		m		17. Grietas de deslizamiento		m2		8. Grietas de reflexión de juntas		m		18. Hinchamiento		m2		
9. Desnivel de calzada - hombrillo		m		19. Disgregación y Desintegración		m2		10. Grietas longitudinales y transversales		m						
<b>TIPO DE FALLAS EXISTENTES</b>																
		<b>13</b>		<b>1</b>		<b>11</b>		<b>10</b>								
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	
86 - 100 EXCELENTE		44	L	1.32	M	27.6	L	1.45	L							
71 - 85 MUY BUENO				4.82	M	1.21	L									
56 - 70 BUENO																
41 - 55 REGULAR																
26 - 40 POBRE																
11 - 25 MUY POBRE																
0 - 10 FALLADO																
T O T A L	<b>BAJA (L)</b>	44		6.14		28.81		1.45								
	<b>MEDIA (M)</b>															
	<b>ALTA (H)</b>															
<b>CÁLCULO DE PCI</b>																
<b>TIPO DE FALLA</b>		<b>DENSIDAD</b>		<b>SEVERIDAD</b>		<b>VALOR DE DEDUCCIÓN</b>										
13		18.33%		L		100										
1		2.56%		M		31										
11		12.00%		L		17										
10		0.60%		L		0										
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>						148		<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b>				18				
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>						82						Muy Pobre				



### ANEXO 3.- PCI empleando VANT

EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS															
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial			<b>Del:</b>	0 + 00.00	<b>Al:</b>	0 + 40.00								
<b>Fecha</b>	May-18			<b>Código</b>	UM 01										
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz			<b>Sección</b>	240.00	m2									
<b>TIPO DE FALLAS</b>															
1. Grieta piel de cocodrilo	m2		11. Parcheo	m2											
2. Exudación de asfalto	m2		12. Agregados pulidos	m2											
3. Grietas de contracción (bloque)	m2		13. Huecos	N°											
4. Flevaciones - Hundimientos	m2		14. Accesos a puentes	m2											
5. Corrugaciones	m2		15. Ahuellamiento	m2											
6. Depresiones	m2		16. Deformación por empuje	m2											
7. Grietas de borde	m		17. Grietas de deslizamiento	m2											
8. Grietas de reflexión de juntas	m		18. Hinchamiento	m2											
9. Desnivel de calzada - hombrillo	m		19. Disgregación y Desintegración	m2											
10. Grietas longitudinales y transversales	m														
<b>TIPO DE FALLAS EXISTENTES</b>															
		<b>10</b>		<b>11</b>		<b>1</b>									
86-100	EXCELENTE	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
71-85	MUY BUENO	1	M	30.82	L	1.48	L								
56-70	BUENO	2.74	M			4.58	L								
41-55	REGULAR	1.14	M			1.67	M								
26-40	POBRE	0.66	M			5.24	M								
11-25	MUY POBRE	2.05	M			1.27	L								
0-10	FALLADO	2.37	M												
		1.77	M												
TOTAL	<b>BAJA (L)</b>			30.82		7.33									
	<b>MEDIA (M)</b>	11.73				6.91									
	<b>ALTA (H)</b>														
<b>CÁLCULO DE PCI</b>															
<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>SEVERIDAD</b>	<b>VALOR DE DEDUCCIÓN</b>			 <p style="text-align: center;">Av. Separadora Industrial</p> <p style="text-align: center;">→</p>									
10	4.89%	M	11												
11	12.84%	L	18												
1	3.05%	L	21												
1	2.88%	M	32												
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>			82			<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b>		54							
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>			46					Regular							
<b>ORTOFOTO</b>															
															







EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS			
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial	<b>Del:</b>	0 + 120.00 <b>Al:</b> 0 + 160.00
<b>Fecha</b>	May-18	<b>Código</b>	UM 04
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz	<b>Sección</b>	240.00 m2



**TIPO DE FALLAS**

1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2
2. Exudación de asfalto	m2	12. Agregados pulidos	m2
3. Grietas de contracción (bloque)	m2	13. Huecos	N°
4. Flevaciones - Hundimientos	m2	14. Accesos a puentes	m2
5. Corrugaciones	m2	15. Ahuellamiento	m2
6. Depresiones	m2	16. Deformación por empuje	m2
7. Grietas de borde	m	17. Grietas de deslizamiento	m2
8. Grietas de reflexión de juntas	m	18. Hinchamiento	m2
9. Desnivel de calzada - hombrillo	m	19. Disgregación y Desintegración	m2
10. Grietas longitudinales y transversales	m		

**TIPO DE FALLAS EXISTENTES**

	TIPO DE FALLAS EXISTENTES													
	10		1		11		13							
	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
86 - 100 EXCELENTE														
71 - 85 MUY BUENO	0.64	M	6.78	M	31.16	L	2	M						
56 - 70 BUENO	1.01	M	0.56	M			6	M						
41 - 55 REGULAR	0.4	M	3.43	L			2	M						
26 - 40 POBRE	3.63	M	1.49	M			12	M						
11 - 25 MUY POBRE	0.44	M	5.04	M			8	M						
0 - 10 FALLADO	0.81	M	9.23	M			10	M						
<b>TOTAL</b>			3.43		31.16									
	<b>BAJA (L)</b>													
	<b>MEDIA (M)</b>		6.93		23.1		40							
	<b>ALTA (H)</b>													

**CÁLCULO DE PCI**

TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DE DEDUCCIÓN
10	2.89%	M	2
1	1.43%	L	13
1	9.63%	M	47
11	12.98%	L	18
13	16.67%	M	100
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>			180
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>			90

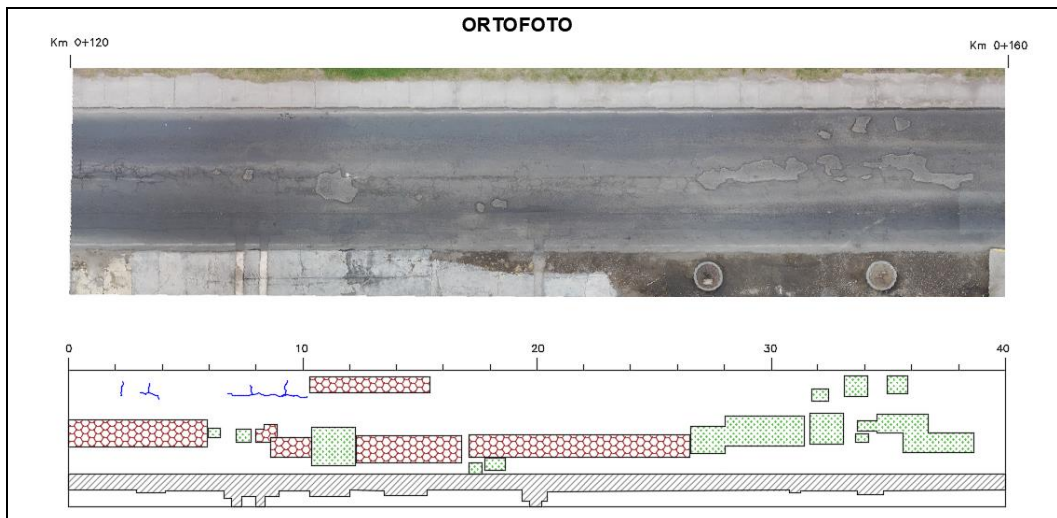
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			4									

Av. Separadora Industrial

→

<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b>	10
	Fallado

**ORTOFOTO**



EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS			
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial	<b>Del:</b>	0 + 160.00 <b>Al:</b> 0 + 200.00
<b>Fecha</b>	May-18	<b>Código</b>	UM 05
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz	<b>Sección</b>	240.00 m2



**TIPO DE FALLAS**

1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2
2. Exudación de asfalto	m2	12. Agregados pulidos	m2
3. Grietas de contracción (bloque)	m2	13. Huecos	N°
4. Flevaciones - Hundimientos	m2	14. Accesos a puentes	m2
5. Corrugaciones	m2	15. Ahuellamiento	m2
6. Depresiones	m2	16. Deformación por empuje	m2
7. Grietas de borde	m	17. Grietas de deslizamiento	m2
8. Grietas de reflexión de juntas	m	18. Hinchamiento	m2
9. Desnivel de calzada - hombrillo	m	19. Disgregación y Desintegración	m2
10. Grietas longitudinales y transversales	m		

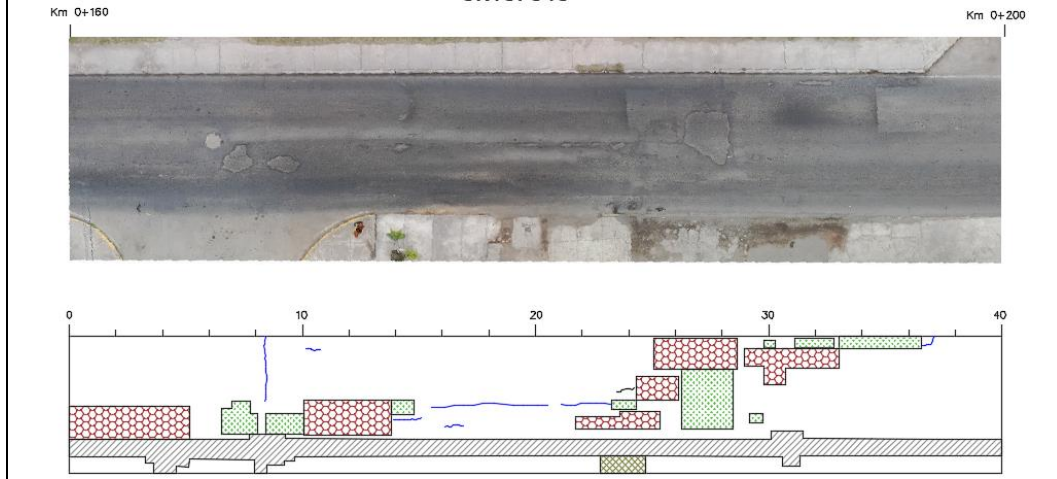
**TIPO DE FALLAS EXISTENTES**

	TIPO DE FALLAS EXISTENTES													
	1		11		10		13		7					
	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
86 - 100 EXCELENTE														
71 - 85 MUY BUENO	7.26	M	32.12	L	2.86	M	4	M	1.95	M				
56 - 70 BUENO	5.56	M			0.65	M	3	M						
41 - 55 REGULAR	2.25	M			1.26	M	2	M						
26 - 40 POBRE	1.84	M			4.98	H	11	M						
11 - 25 MUY POBRE	4.65	H			2.16	H	2	M						
0 - 10 FALLADO	3.92	M			0.82	M	4	M						
					0.73	M								
<b>TOTAL</b>	<b>BAJA (L)</b>		32.12											
	<b>MEDIA (M)</b>		20.83		6.32		26		1.95					
	<b>ALTA (H)</b>		4.65		7.14									

**CÁLCULO DE PCI**

TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DE DEDUCCIÓN																																						
1	8.68%	M	45																																						
1	1.94%	H	40																																						
11	13.38%	L	28																																						
10	2.63%	M	7																																						
10	2.98%	H	17																																						
13	10.83%	M	100																																						
7	0.81%	M	7																																						
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>				244																																					
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>				82																																					
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #0056b3;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>										1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13														<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b> 18 Muy Pobre	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13																													

**ORTOFOTO**







EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS			
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial	<b>Del:</b>	0 + 280.00 <b>Al:</b> 0 + 320.00
<b>Fecha</b>	May-18	<b>Código</b>	UM 08
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz	<b>Sección</b>	240.00 m2



**TIPO DE FALLAS**

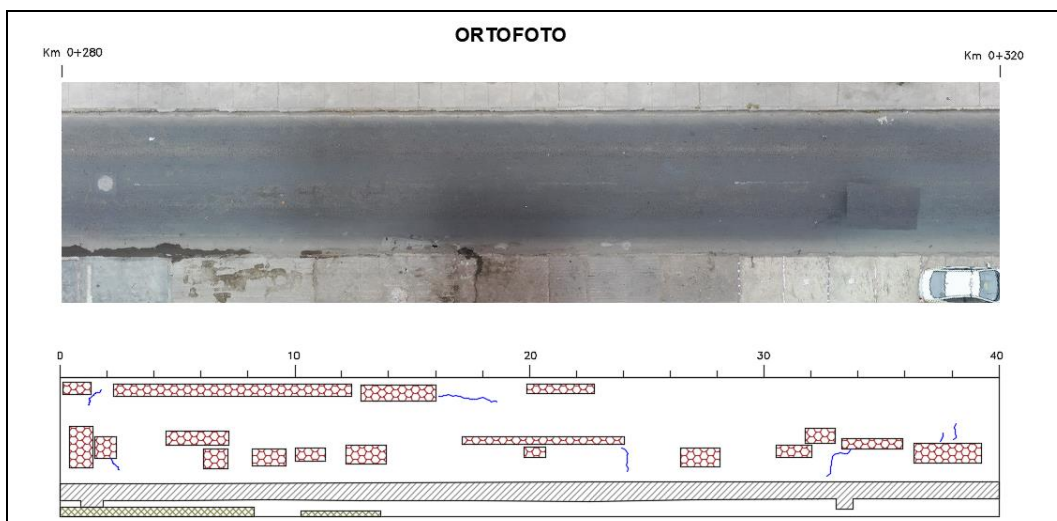
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2
2. Exudación de asfalto	m2	12. Agregados pulidos	m2
3. Grietas de contracción (bloque)	m2	13. Huecos	N°
4. Flevaciones - Hundimientos	m2	14. Accesos a puentes	m2
5. Corrugaciones	m2	15. Ahuellamiento	m2
6. Depresiones	m2	16. Deformación por empuje	m2
7. Grietas de borde	m	17. Grietas de deslizamiento	m2
8. Grietas de reflexión de juntas	m	18. Hinchamiento	m2
9. Desnivel de calzada - hombrillo	m	19. Disgregación y Desintegración	m2
10. Grietas longitudinales y transversales	m		

**TIPO DE FALLAS EXISTENTES**

	TIPO DE FALLAS EXISTENTES													
	10		1		11		7							
	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
86 - 100 EXCELENTE	0.98	M	0.61	M	30.14	L	8.2	M						
71 - 85 MUY BUENO	0.62	M	5.19	M			3.4	H						
56 - 70 BUENO	2.64	M	1.73	L										
41 - 55 REGULAR	1.16	M	1.59	L										
26 - 40 POBRE	1.87	M	3.18	L										
11 - 25 MUY POBRE	1.15	M	2.87	M										
0 - 10 FALLADO			3.04	M										
<b>TOTAL</b>	<b>BAJA (L)</b>		6.5		30.14									
	<b>MEDIA (M)</b>		8.42		11.71		8.2							
	<b>ALTA (H)</b>						3.4							

**CÁLCULO DE PCI**

TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DE DEDUCCIÓN	
10	3.51%	M	9	
1	2.71%	L	20	
1	4.88%	M	37	
11	12.56%	L	29	
7	3.42%	M	9	
7	1.42%	H	10	
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>			114	<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b>
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>			56	44 Regular





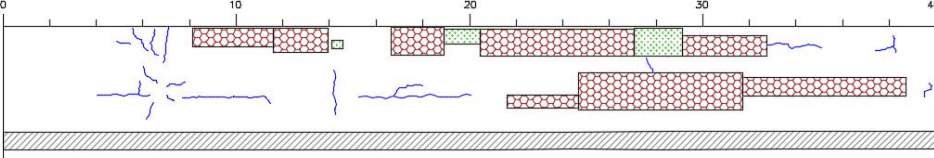










EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS															
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial				<b>Del:</b>	0 + 440.00		<b>Al:</b>	0 + 480.00						
<b>Fecha</b>	May-18				<b>Código</b>	UM 12									
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz				<b>Sección</b>	240.00		m2							
<b>TIPO DE FALLAS</b>															
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2		2. Exudación de asfalto		m2		12. Agregados pulidos		m2	
3. Grietas de contracción (bloque)		m2		13. Huecos		N°		4. Flevaciones - Hundimientos		m2		14. Accesos a puentes		m2	
5. Corrugaciones		m2		15. Ahuellamiento		m2		6. Depresiones		m2		16. Deformación por empuje		m2	
7. Grietas de borde		m		17. Grietas de deslizamiento		m2		8. Grietas de reflexión de juntas		m		18. Hinchamiento		m2	
9. Desnivel de calzada - hombrillo		m		19. Disgregación y Desintegración		m2		10. Grietas longitudinales y transversales		m					
<b>TIPO DE FALLAS EXISTENTES</b>															
		<b>10</b>		<b>1</b>		<b>13</b>		<b>11</b>							
86 - 100	EXCELENTE	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
71 - 85	MUY BUENO	4.85	M	2.73	L	4	L								
56 - 70	BUENO	6.18	L	6.72	M										
41 - 55	REGULAR	3.97	M	2.71	L										
26 - 40	POBRE	2.06	M	7.83	M										
11 - 25	MUY POBRE	1.54	L	1.76	L										
0 - 10	FALLADO	4.95	L	11.35	H										
		4.94	L	5.41	L										
TOTAL	<b>BAJA (L)</b>	17.61		12.61		4		30.24							
	<b>MEDIA (M)</b>	10.88		14.55											
	<b>ALTA (H)</b>			11.35											
<b>CÁLCULO DE PCI</b>															
<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>SEVERIDAD</b>	<b>VALOR DE DEDUCCIÓN</b>												
10	7.34%	L	8												
10	4.53%	M	11												
1	5.25%	L	27												
1	6.06%	M	40												
1	4.73%	H	51												
13	1.67%	L	91												
11	12.60%	L	29												
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>			257												
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>			89			<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b>					11				
											Muy Pobre				
<b>ORTOFOTO</b>															
															
															

EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS			
<b>Proyecto</b>	Av. Separadora Industrial	<b>Del:</b>	0 + 480.00 <b>Al:</b> 0 + 510.00
<b>Fecha</b>	May-18	<b>Código</b>	UM 13
<b>Responsable</b>	Bach. Jorge Cruz	<b>Sección</b>	180.00 m2



**TIPO DE FALLAS**

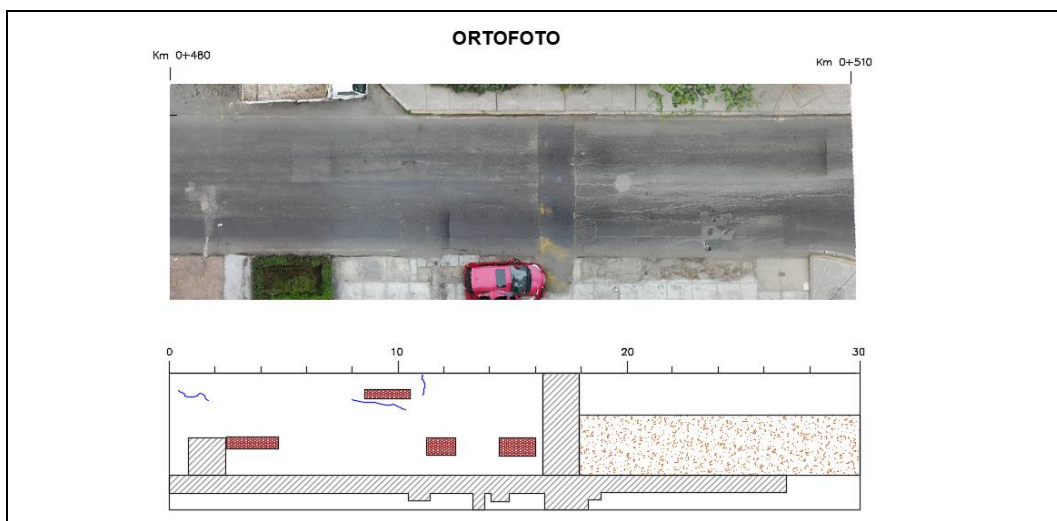
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2
2. Exudación de asfalto	m2	12. Agregados pulidos	m2
3. Grietas de contracción (bloque)	m2	13. Huecos	N°
4. Flevaciones - Hundimientos	m2	14. Cruce de vía férrea	m2
5. Corrugaciones	m2	15. Ahuellamiento	m2
6. Depresiones	m2	16. Deformación por empuje	m2
7. Grietas de borde	m	17. Grietas de deslizamiento	m2
8. Grietas de reflexión de juntas	m	18. Hinchamiento	m2
9. Desnivel de calzada - hombrillo	m	19. Disgregación y Desintegración	m2
10. Grietas longitudinales y transversales	m		

**TIPO DE FALLAS EXISTENTES**

		TIPO DE FALLAS EXISTENTES													
		10		11		12		1							
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
86 - 100	EXCELENTE	1.62	L	24.14	L	31.8	M	1.16	M						
71 - 85	MUY BUENO	2.43	M	2.66	H			0.8	M						
56 - 70	BUENO	0.96	M	7.09	L			0.96	L						
41 - 55	REGULAR							1.28	L						
26 - 40	POBRE														
11 - 25	MUY POBRE														
0 - 10	FALLADO														
T O T A L	<b>BAJA (L)</b>	1.62		31.23				2.24							
	<b>MEDIA (M)</b>	3.39				31.8		1.96							
	<b>ALTA (H)</b>			2.66											

**CÁLCULO DE PCI**

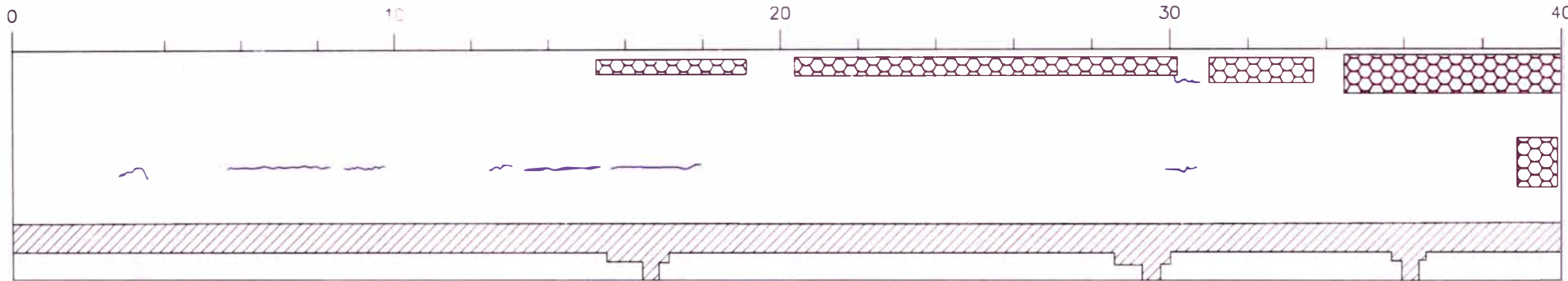
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DE DEDUCCIÓN																																						
10	0.90%	L	0																																						
10	1.88%	M	4																																						
11	17.35%	L	22																																						
11	1.48%	H	22																																						
12	17.67%	M	6																																						
1	1.24%	L	11																																						
1	1.09%	M	21																																						
<b>VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN</b>			86																																						
<b>VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO - VDC</b>			42																																						
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>										1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13																													
				Av. Separadora Industrial																																					
				→																																					
														CONDICIÓN DEL PAVIMENTO																											
														58																											
														Bueno																											



Km 0+00

# ORTOFOTO

Km 0+40



LEYENDA			
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS	
		GRIETAS EN BLOQUE	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA  
AV. SEPARADORA INDUSTRIAL

ESCALA :  
1:150

ELABORADO POR : BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO

LAMINA :

PLANO : REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

UM 01

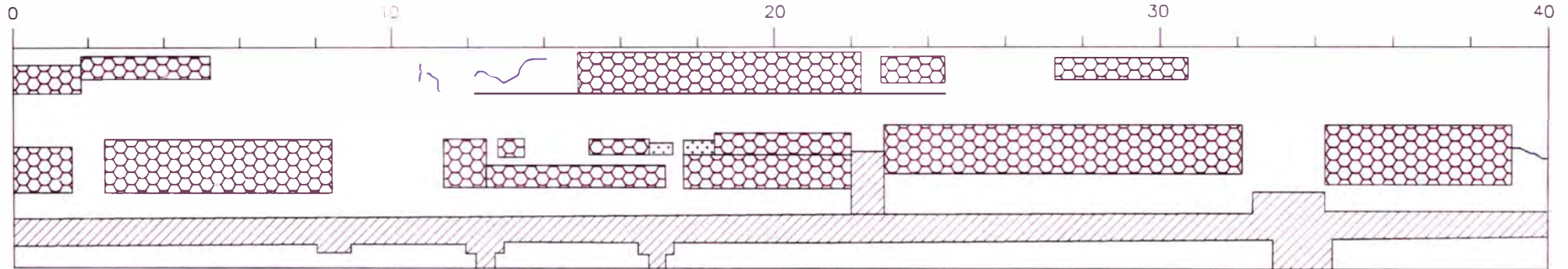
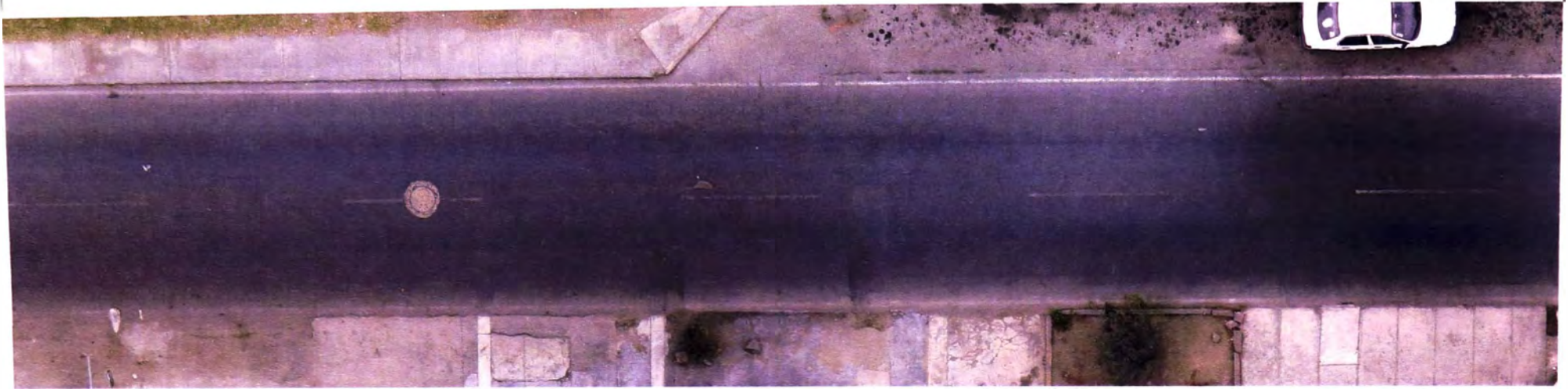
PROGRESIVA : KM 0+00 - KM 0+40



# ORTOFOTO

Km 0+40

Km 0+80



LEYENDA			
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS	
		GRIETAS EN BLOQUE	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA AV. SEPARADORA INDUSTRIAL

ESCALA :  
1:150

ELABORADO POR : BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO

LAMINA :

PLANO : REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

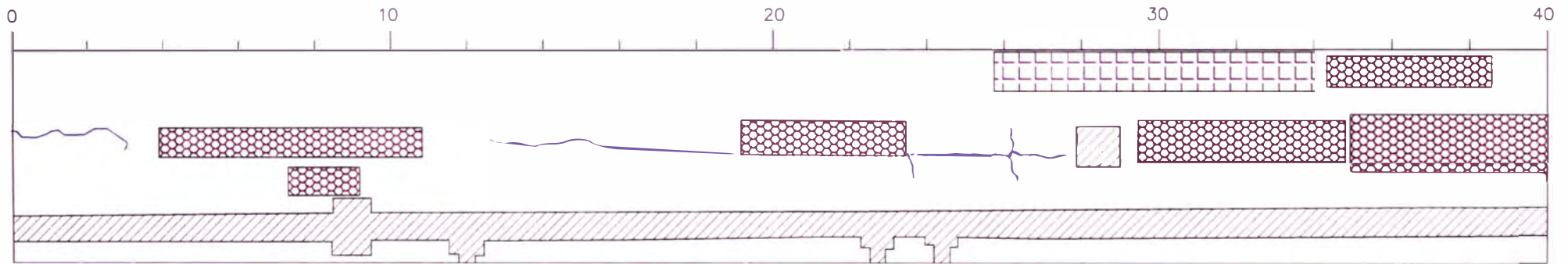
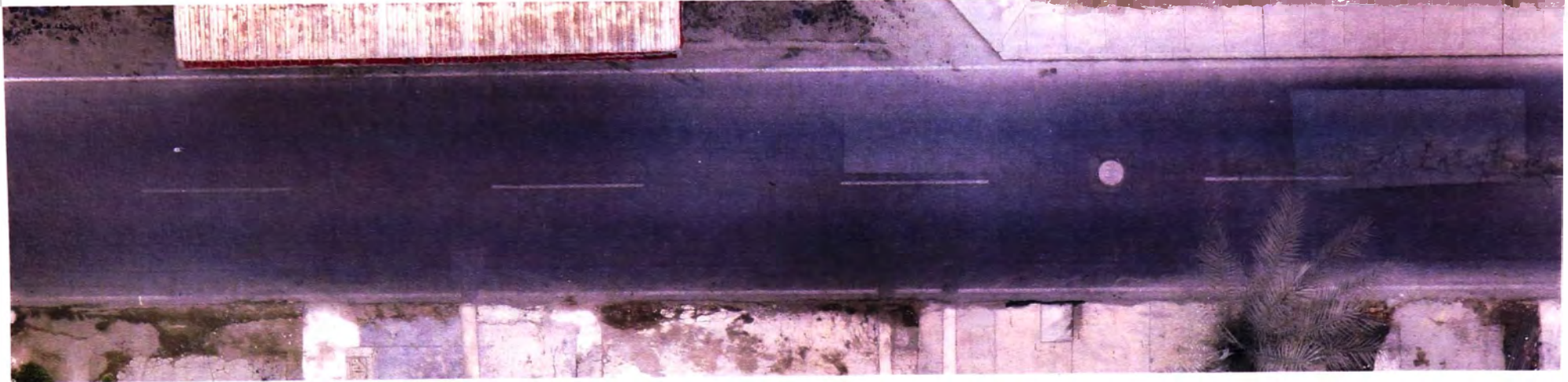
UM 02

PROGRESIVA : KM 0+40 - KM 0+80

Km 0+80

# ORTOFOTO

Km 0+120



LEYENDA			
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS	
		GRIETAS EN BLOQUE	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA  
AV. SEPARADORA INDUSTRIAL

ESCALA :  
1:150

ELABORADO POR : BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO

LAMINA :

PLANO : REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

UM 03

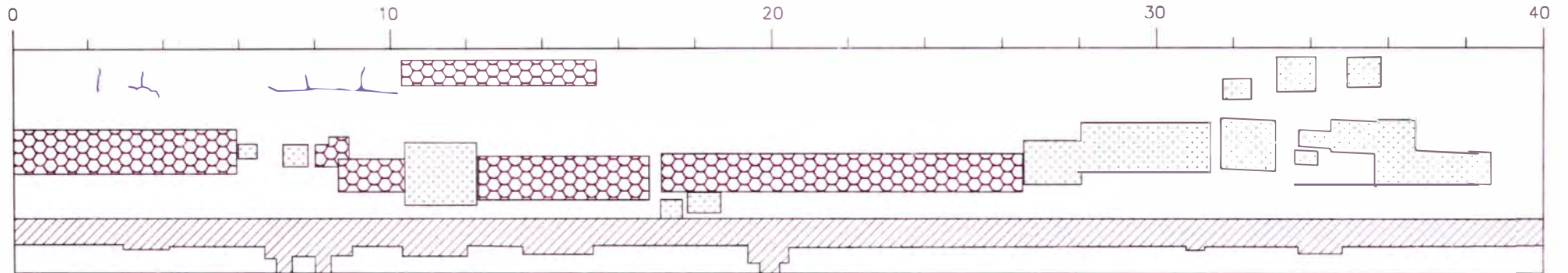
PROGRESIVA : KM 0+80 - KM 0+120



Km 0+120

# ORTOFOTO

Km 0+160



LEYENDA			
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS	
		GRIETAS EN BLOQUE	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

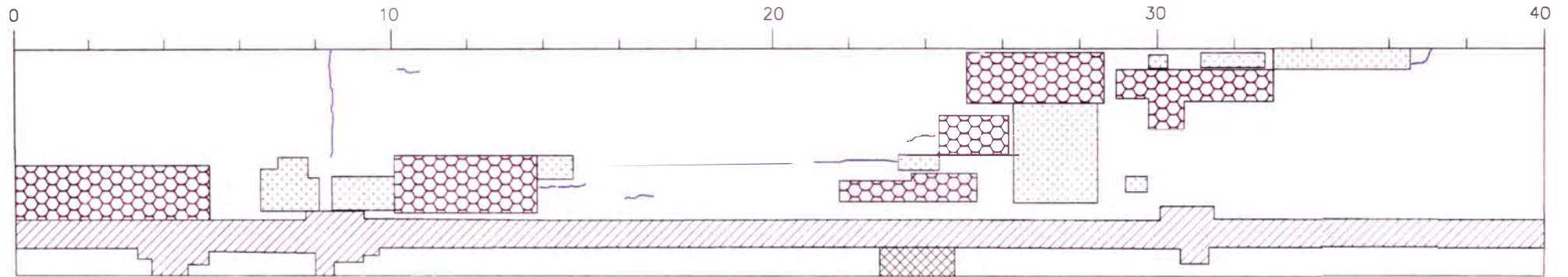
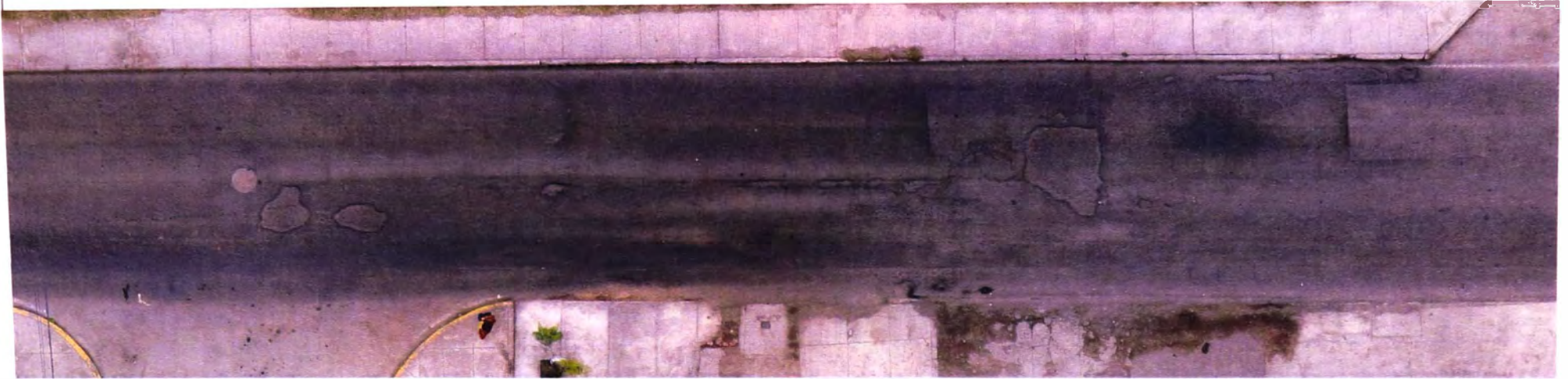
EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA AV. SEPARADORA INDUSTRIAL		ESCALA : 1:150
ELABORADO POR :	BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO	LAMINA :
PLANO :	REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	<b>UM 04</b>
PROGRESIVA :	KM 0+120 - KM 0+160	



# ORTOFOTO

Km 0+160

Km 0+200



LEYENDA					
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO		GRIETAS EN BLOQUE	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS		GRIETA DE BORDE	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA  
AV. SEPARADORA INDUSTRIAL

ESCALA :  
1:150

ELABORADO POR : BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO

LAMINA :

PLANO : REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

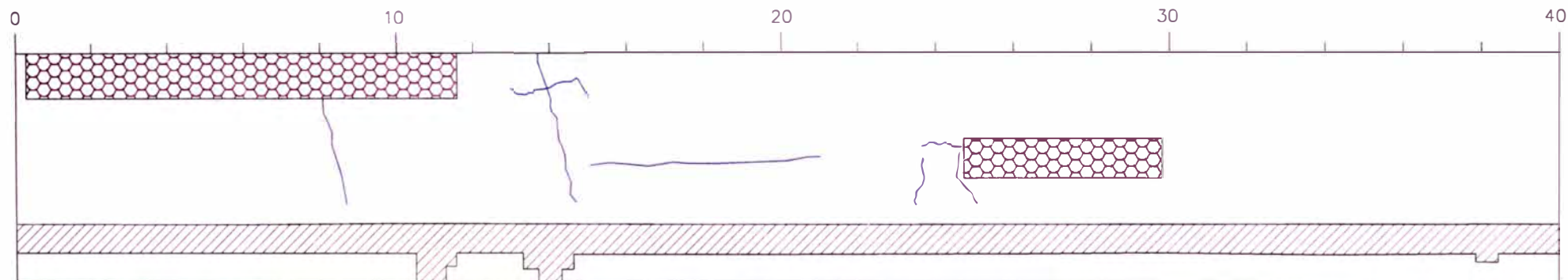
UM 05

PROGRESIVA : KM 0+160 - KM 0+200

# ORTOFOTO

Km 0+200

Km 0+240



LEYENDA					
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO		GRIETAS EN BLOQUE	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS		GRIETA DE BORDE	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA  
AV. SEPARADORA INDUSTRIAL

ESCALA :  
1:150

ELABORADO POR : BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO

LAMINA :

PLANO : REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

UM 06

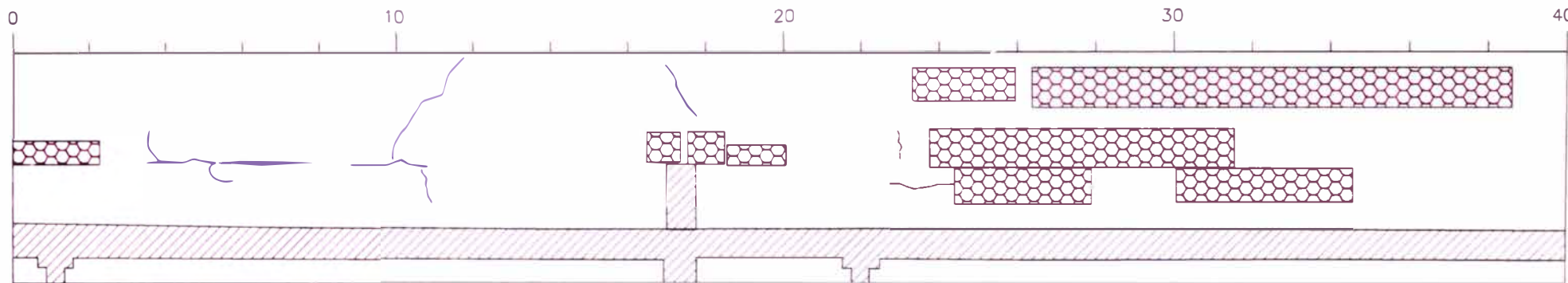
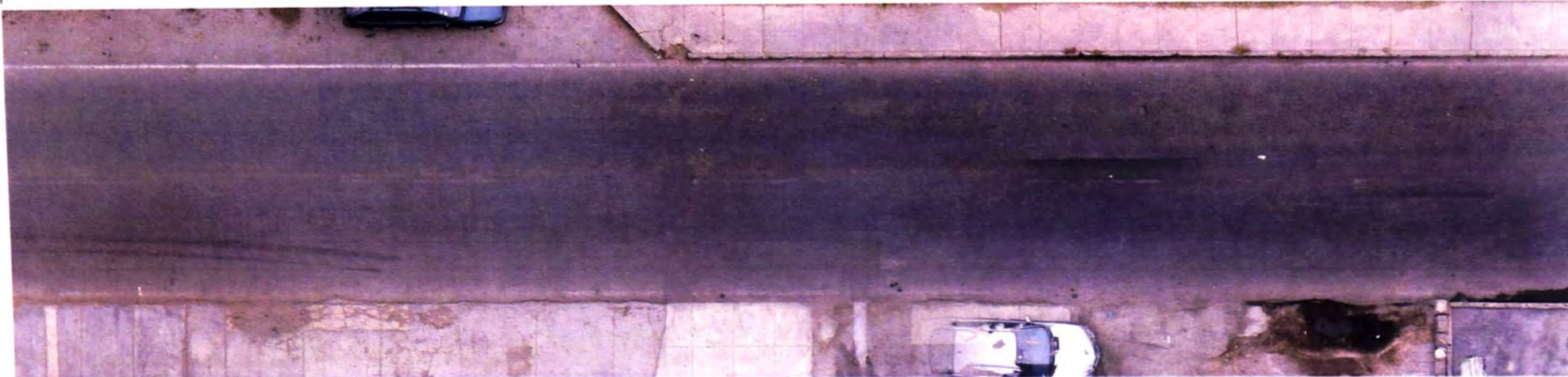
PROGRESIVA : KM 0+200 - KM 0+240



# ORTOFOTO

Km 0+240

Km 0+280



LEYENDA			
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS	
		GRIETAS EN BLOQUE	
		GRIETA DE BORDE	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA  
AV. SEPARADORA INDUSTRIAL

ESCALA :  
1:150

ELABORADO POR : BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO

LAMINA :

PLANO : REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

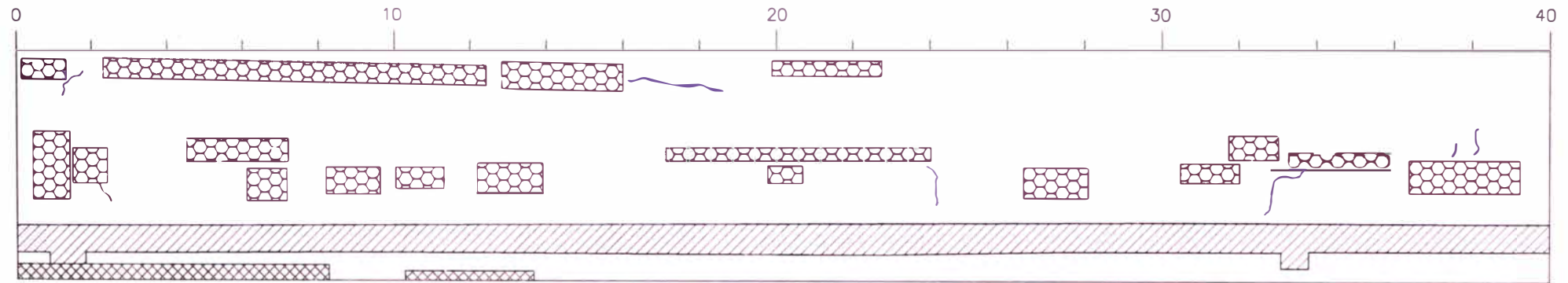
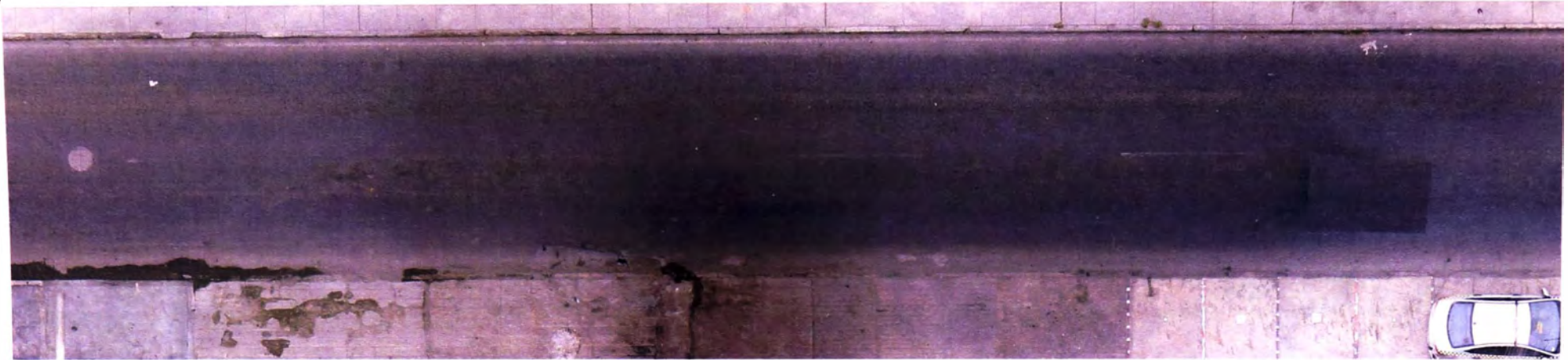
UM 07

PROGRESIVA : KM 0+240 - KM 0+280

# ORTOFOTO

Km 0+280

Km 0+320



## LEYENDA

PIEL DE  
COCODRILO



PARCHEO



GRIETAS EN  
BLOQUE



GRIETAS LONG.  
Y TRANSV.



HUECOS



GRIETA DE  
BORDE



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA  
AV. SEPARADORA INDUSTRIAL

ESCALA :  
1:150

ELABORADO POR : BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO

LAMINA :

PLANO : REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

UM 08

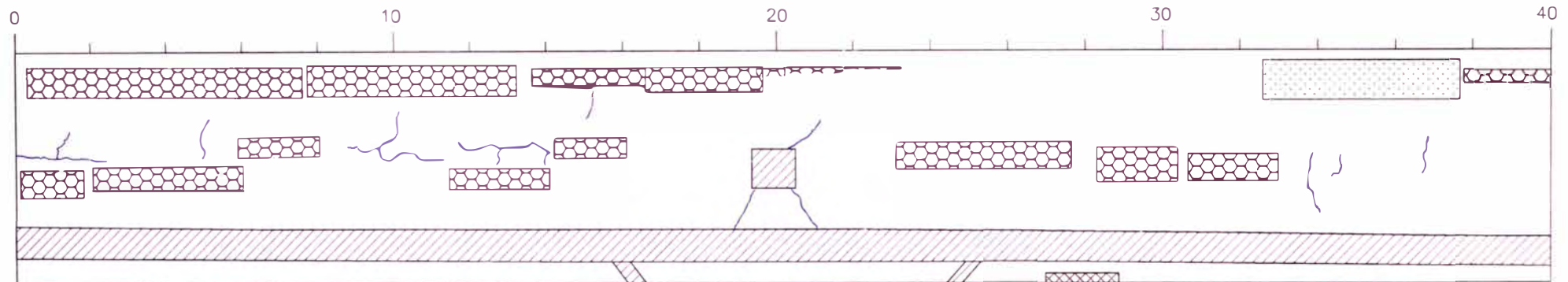
PROGRESIVA : KM 0+280 - KM 0+320



Km 0+320

# ORTOFOTO

Km 0+360



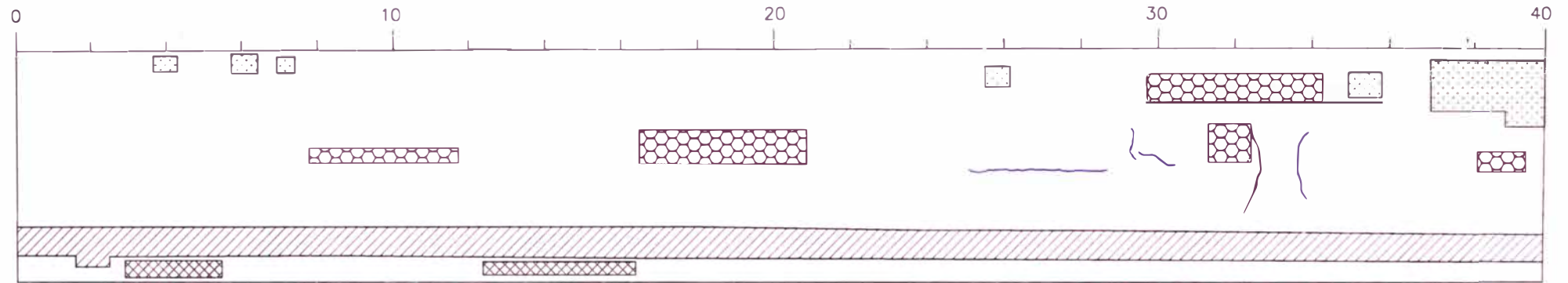
LEYENDA					
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO		GRIETAS EN BLOQUE	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS		GRIETA DE BORDE	

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA AV. SEPARADORA INDUSTRIAL		ESCALA : 1:150	
ELABORADO POR : BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO		LAMINA :	
PLANO : REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE		UM 09	
PROGRESIVA : KM 0+320 - KM 0+360			

# ORTOFOTO

Km 0+360

Km 0+400



LEYENDA					
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO		GRIETAS EN BLOQUE	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS		GRIETA DE BORDE	

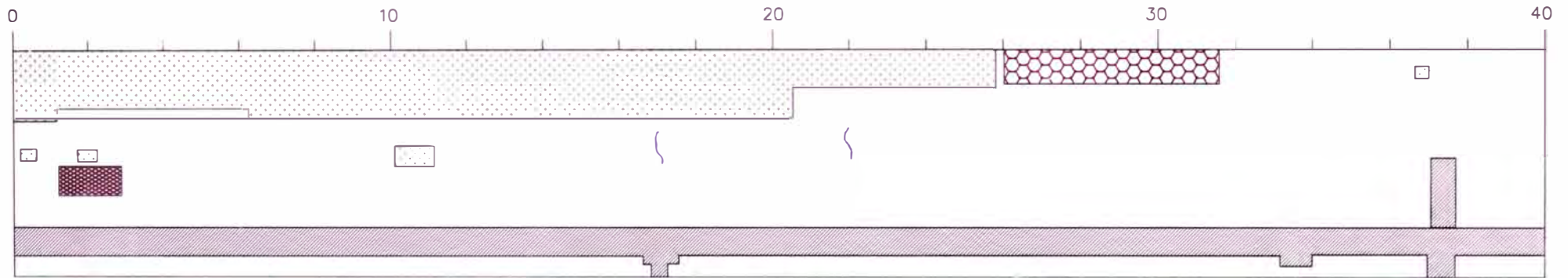
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		ESCALA : 1:150
EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA AV. SEPARADORA INDUSTRIAL		LAMINA : <b>UM 10</b>
ELABORADO POR :	BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO	
PLANO :	REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	
PROGRESIVA :	KM 0+360 - KM 0+400	



# ORTOFOTO

Km 0+400

Km 0+440



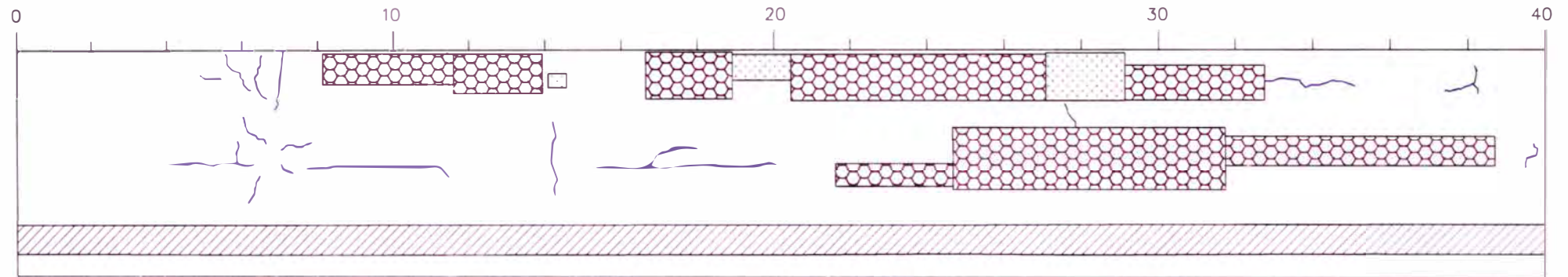
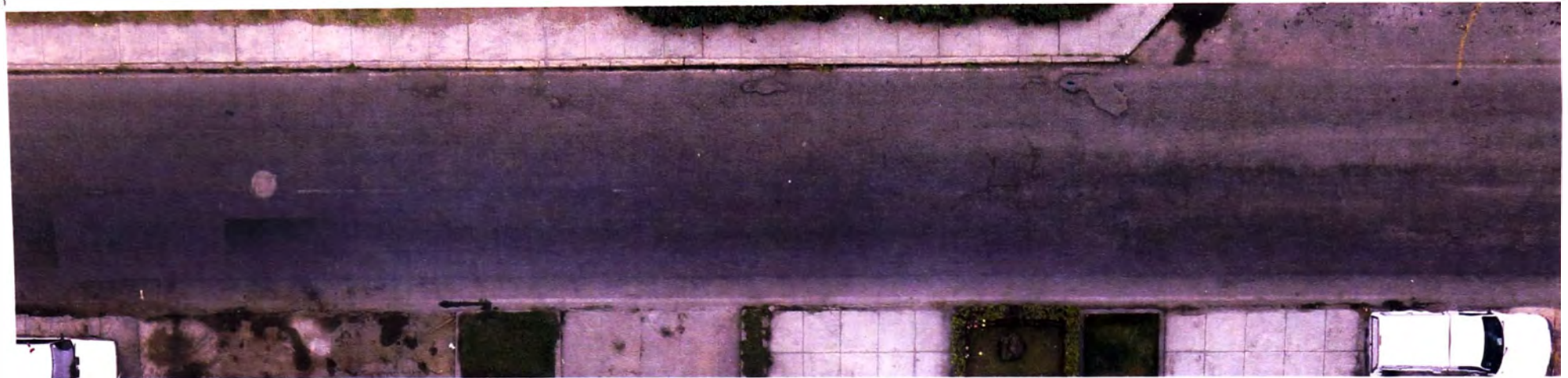
LEYENDA			
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS	
		GRIETAS EN BLOQUE	
		GRIETA DE BORDE	

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA AV. SEPARADORA INDUSTRIAL	
ELABORADO POR :	BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO
PLANO	REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
PROGRESIVA :	KM 0+400 - KM 0+440
ESCALA :	1:150
LAMINA :	<b>UM 11</b>

# ORTOFOTO

Km 0+440

Km 0+480



LEYENDA			
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS	
		GRIETAS EN BLOQUE	
		GRIETA DE BORDE	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA  
AV. SEPARADORA INDUSTRIAL

ESCALA :  
1:150

ELABORADO POR : BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO

LAMINA :

PLANO : REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

UM 12

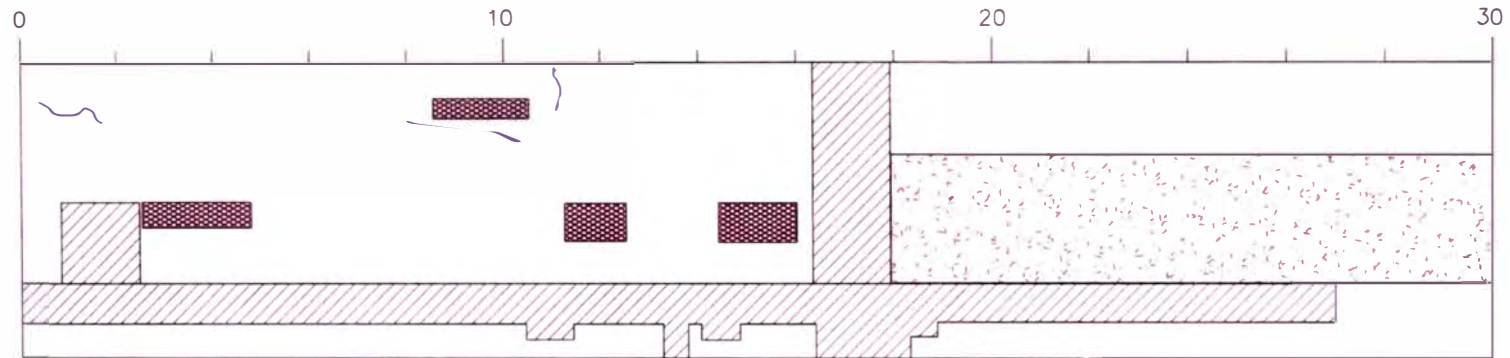
PROGRESIVA : KM 0+440 - KM 0+480



# ORTOFOTO

Km 0+480

Km 0+510



LEYENDA					
PIEL DE COCODRILO		PARCHEO		AGREGADOS PULIDOS	
GRIETAS LONG. Y TRANSV.		HUECOS		GRIETA DE BORDE	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA  
AV. SEPARADORA INDUSTRIAL

ESCALA :  
1:150

ELABORADO POR : BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO

LAMINA :

PLANO : REGISTRO DE FALLAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

UM 13

PROGRESIVA : KM 0+480 - KM 0+510

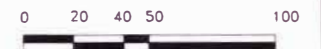
**UBICACION**




**LEYENDA**

86 - 100	EXCELENTE	
71 - 85	MUY BUENO	
56 - 70	BUENO	
41 - 55	REGULAR	
26 - 40	POBRE	
11 - 25	MUY POBRE	
0 - 10	FALLADO	

**ESCALA GRÁFICA**



<b>TRANSITABILIDAD</b>	B.	REG	REG	MAL	MAL	B	REG	B	REG	REG	REG	REG	B
<b>VALOR DE PCI</b>	54	12	39	10	18	42	32	44	24	25	12	11	58
<b>CONDICIÓN DEL PAVIMENTO</b>	REG	MP	POB	FDO	MP	REG	POB	REG	MP	MP	MP	MP	B



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LAS CUADRAS 8-10 DE LA AV. SEPARADORA INDUSTRIAL		ESCALA 1:2000
ELABORADO POR	BACH. JORGE OMAR CRUZ TORIBIO	LAMINA
PLANO	PLANO GENERAL DE EVALUACIÓN PCI	<b>PL-1</b>
PROGRESIVA	KM 0+000 - KM 0+510	