

**El uso de drones empleando metodología de fotogrametría para la caracterización  
vial**

**Yerli Lizeth Márquez Arenis ID**

**Jorge Andrés Parada Barrera ID**

**Propuesta proyecto de grado**

**Julián Andrés Galvis Flores**

**Director**

**Universidad Pontificia Bolivariana, Piedecuesta**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**2021**

**El uso de drones empleando metodología de fotogrametría para la caracterización  
vial**

**Yerli Lizeth Márquez Arenis ID**

**Jorge Andrés Parada Barrera ID**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Julián Andrés Galvis Flores**

**Director**

**Universidad Pontificia Bolivariana, Piedecuesta**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**2021**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Firma del Evaluador

## **DEDICATORIA**

Queremos dedicar este trabajo de grado principalmente a nuestros padres, quienes han sido nuestro gran motor y guía para salir adelante, culminar nuestros estudios y forjar un futuro encaminado al éxito. También queremos dedicarlo a nuestros familiares y amigos que nos han acompañado en toda nuestra etapa universitaria, siendo ese gran apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a nuestros docentes por acompañarnos en cada paso de nuestra carrera universitaria, por guiarnos y brindarnos las bases que necesitamos para salir a nuestra vida laboral y llegar a ser grandes y exitosos profesionales; agradecemos a nuestros familiares por estar siempre apoyándonos y por darnos animo en las adversidades que hemos podido enfrentar; finalmente también queremos agradecer a nuestros amigos y allegados por compartir con nosotros los momentos más importantes de nuestra carrera universitaria.

## Tabla de Contenido

Resumen.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Introducción .....	12
1. Planteamiento del Problema.....	14
2. Objetivos .....	17
2.1. Objetivo General .....	17
2.2. Objetivos Específicos.....	17
3. Justificación.....	18
4. Antecedentes .....	20
5. Marco Teórico.....	24
5.1. Fotogrametría.....	24
5.2. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) o Drone .....	24
5.3. Caracterización Vial.....	26
6. Metodología .....	30
7. Desarrollo de la metodología .....	32
7.1. Métodos utilizados convencionalmente en la implementación de caracterización de la infraestructura vial.....	32
7.1.1. Método SIG.....	33
7.1.2. Método de calicatas.....	34
7.1.3. Método por perforaciones .....	35
7.1.4. Método de auscultación visual o superficial .....	35

7.2. Ventajas y desventajas de caracterización vial con método fotogramétrico con drones .....	35
7.2.1. Especificaciones técnicas del vehículo aéreo no tripulado de tipo a la fija, propiedades y funciones de los drones.....	37
7.2.2. Fotogrametría con drones.....	39
7.3. Comparación de experiencias de las metodologías tradicionales y el uso de drones para la caracterización vial.....	44
7.3.1. Caracterización vial a través de metodología SIG .....	44
7.3.2. Caracterización vial a través de la metodología PCI .....	44
7.3.3. Caracterización vial a través de la metodología VIZIR .....	45
7.3.4. Caracterización vial a través de la metodología de fotogrametría con drones	45
7.3.5. Análisis comparativo de caracterización vial mediante métodos fotogramétricos y tradicionales .....	46
7.3.6. Caracterización vial a través de la metodología de calicatas .....	46
7.3.7. Comparación de experiencias entre las metodologías convencionales y el uso de drones para la caracterización vial .....	47
7.4. Factibilidad de la implementación de drones para la caracterización vial mediante fotogrametría.....	50
7.4.1. Descripción del método de fotogrametría a través de drones .....	51
8. Conclusiones .....	61
9. Recomendaciones.....	63
Referencias.....	64

### Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Tipo de dron según su estructura .....	25
<b>Tabla 2.</b> Tipo de dron según su peso .....	26
<b>Tabla 3.</b> Índice de condición de pavimento .....	27
<b>Tabla 4.</b> Método de evaluación del estado de las vías .....	33
<b>Tabla 5.</b> Ventajas y desventajas del método de fotogrametría con drones .....	36
<b>Tabla 6.</b> Ventajas y desventajas de la fotogrametría en general .....	38
<b>Tabla 7.</b> Diferencias y semejanzas de los drones según su forma de sustentación. ....	43
<b>Tabla 8.</b> Análisis método fotogramétrico. ....	46
<b>Tabla 9.</b> Comparación de experiencias de las metodologías convencionales y el uso de drones .....	48

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Drones Multimotor .....	40
<b>Figura 2.</b> Drones de ala fija.....	41
<b>Figura 3.</b> Tipos de UAV de ala fija.....	42
<b>Figura 4.</b> Control terrestre en campo .....	52
<b>Figura 5.</b> Programación de plan de vuelo en el software a utilizar .....	53
<b>Figura 6.</b> Procesamiento de datos en el software utilizado .....	54
<b>Figura 7.</b> Plan de vuelo en Matlab .....	55
<b>Figura 8.</b> Proceso del método de fotogrametría .....	58
<b>Figura 9.</b> Planos vectoriales de la fotogrametría.....	59

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>TITULO:</b>	El uso de drones empleando metodología de fotogrametría para la caracterización vial
<b>AUTOR(ES):</b>	Jorge Andres Parada Barrera Yerli lizeth Marquez Arenis
<b>PROGRAMA:</b>	Facultad de Ingeniería Civil
<b>DIRECTOR(A):</b>	Julian Andres Galvis Florez

### RESUMEN

Debido a la existente necesidad de realizar seguimiento a la infraestructura vial de los municipios y regiones, para identificar su estado y garantizar el mantenimiento óptimo de las mismas, este proyecto evaluó la viabilidad de realizar dicha caracterización vial mediante el uso de drones a través de la metodología de fotogrametría; para ello, se describieron diferentes métodos utilizados convencionalmente como las metodologías SIG, Calicatas PCI y VIZIR. Se revisaron las especificaciones técnicas, funciones y propiedades de los drones identificando su potencial; se realizó la comparación de las metodologías tradicionales frente a la estudiada y se expuso la factibilidad del uso de drones, obteniendo como resultados principales la efectividad en la implementación de los Unmanned Aerial Vehicle (UAV) o drone para la realización de caracterizaciones viales al igual que en otras metodologías. Sin embargo, se identificaron beneficios con respecto a inversiones, tiempo, mano de obra, innovación, entre otras, exponiendo como conclusión final que la implementación de drones en la metodología de fotogrametría es una herramienta útil y factible para obtener resultados más detallados y acertados.

### PALABRAS CLAVE:

Infraestructura vial, drones, metodología de fotogrametría, caracterización vial.

**Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** The use of drones using photogrammetry methodology for road characterization

**AUTHOR(S):** Jorge Andres Parada Barrera  
Yerli lizeth Marquez Arenis

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Julian Andres Galvis Florez

### ABSTRACT

Due to the existing need to monitor the road infrastructure of municipalities and regions in order to identify their state and ensure their optimal maintenance, This project evaluated the feasibility of carrying out this characterization through the use of drones through the photogrammetry methodology; to this end, different methods used conventionally as GIS methodologies, PCI Calicatas and VIZIR were described. The technical specifications, functions and properties of drones were reviewed, identifying their potential; the comparison of traditional methodologies was made against the study and the feasibility of using drones was exposed, obtaining as main results the effectiveness in the implementation of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) or drone for the realization of road characterizations as in other methodologies. However, benefits were identified with respect to investments, time, manpower, innovation, among others, stating as a final conclusion that the implementation of drones in photogrammetry methodology is a useful and feasible tool for obtaining more detailed and accurate results.

### KEYWORDS:

Road infrastructure, Drones, Photogrammetry methodology, Road characterization.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## Introducción

En los últimos años se han presenciado grandes avances tecnológicos que han sido de gran beneficio para los diferentes campos y áreas de la ingeniería, dentro de los avances tecnológicos de la ingeniería civil, el uso de los drones como herramienta de supervisión, ha presentado resultados eficientes en diversos escenarios, como en situaciones de accidentes o percances, así como en la planificación, diseño, elaboración y otras condiciones propias de la actividad de la ingeniería civil [1].

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, este proyecto pretende analizar el uso de drones empleando la metodología de fotogrametría para la realización de la caracterización de infraestructuras viales, con el fin de identificar visualmente toda aquella información que pueda deducirse acerca de sus dimensiones, cualidades y adicionalmente, si las vías presentan algún tipo de anomalía o irregularidad, es decir, se encuentre fragmentada o en mal estado, con el objetivo de evidenciar si requieren de mantenimientos o cambios en su estructura.

Esta información puede ser complementada, debido a que, para la caracterización vial o la determinación de las condiciones de la infraestructura vial, en Colombia, se utilizan principalmente métodos como La Metodología para presentar la información que conforma el Sistema Integrado Nacional de Información de Carreteras (SINC), la cual clasifica el estado de las vías según las especificaciones del método [2].

Este trabajo de grado se realiza a través de tres etapas fundamentales; en primer lugar y como primera etapa, se describen las técnicas o metodologías comúnmente usadas en la fotogrametría para la caracterización de vías y adicionalmente se efectúa una revisión profunda de las propiedades, particularidades y funciones del drone. Como segunda etapa, se realiza una revisión

bibliográfica de diferentes proyectos que permiten evidenciar experiencias del uso de estos métodos y el uso del drone para identificar características en la infraestructura vial, y además de ello, se efectúa una comparación de dichas metodologías frente a la implementación del drone como una herramienta útil en la fotogrametría. Como etapa final, se describe la factibilidad del uso del drone como técnica fotogramétrica para detallar anomalías en las infraestructuras viales.

## 1. Planteamiento del Problema

La infraestructura vial es un factor indispensable en el desarrollo socio-económico de un país, ya que a través de este medio se desarrollan actividades de movilidad y traslado de personas, equipamiento, mercancía e insumos a distintos lugares.

En el año 2014 se determinó que Colombia presenta un déficit en infraestructura vial, debido a que, carece de autopistas y vías en estados favorables tanto a nivel urbano como rural, cuenta con vías primarias, secundarias y terciarias en el territorio nacional, las cuales solo tienen dos carriles, y sumado a ello, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Ministerio de Transporte dio fe del atraso de la red vial nacional, ya que, solo el 20% cuenta con vías pavimentadas. Estos problemas viales han generado un atraso al desarrollo vial de municipios y regiones, provocando así daños a futuro como fallas en los diseños de los planos y presupuestos, lo que origina un problema a las vías [3].

Las consecuencias de esta problemática se han visto reflejadas en las limitaciones de velocidad, retrasos en los recorridos, limitaciones del volumen de tránsito y otros; atribuyéndole también, factores en los que tiene lugar la corrupción y la poca inversión para proyectos de este tipo [4].

Es por ello, que para los entes gubernamentales es un asunto de interés, debido a que se ha visto la necesidad de realizar estudios y proyectos que permitan identificar, conocer e inventariar las redes viales de los municipios y regiones, con el objetivo principal de referenciar el estado actual de estas y actuar con base a la información recolectada implementando proyectos que favorezcan su desarrollo [5].

En la actualidad, la caracterización vial se realiza mediante largos procesos de operación, haciendo de este, un trabajo tedioso para quien la realiza, debido a que esta se complementa de una serie de

pasos ejecutados en campo, iniciando con largos recorridos en el área a trabajar, georeferenciación de vías con GPS, diligenciamiento de formatos, identificación de cauces, entre otras actividades [6].

Adicionalmente, hoy en día las ciudades tienen como objetivo ofrecer mallas viales en excelentes condiciones y estados, las cuales permitan disminuir los tiempos de viaje y beneficiar a la sociedad; por ende, con el fin de ofrecer mallas viales con las condiciones óptimas, es necesario realizar mantenimiento y rehabilitación de las mismas, por lo cual, también es indispensable la ejecución de seguimientos para detectar el deterioro de las vías[1]. Para ejecutar la caracterización de la malla vial, usualmente se utilizan métodos como la adoptada por el Ministerio de Transporte para reportar la información que conforma el Sistema Integrado Nacional de Información de Carreteras (SINC) [2].

El cual hace referencia a un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permite representar visualmente la ubicación cartográfica de elementos; en este sistema se registra la información o datos acerca del eje de las vías, fotos, puntos de referencia, propiedades, muros, túneles, sitios críticos de inestabilidad y obras de drenaje [7].

Cada criterio mencionado anteriormente se desglosa en la resolución 412 de 2020, mediante la cual se describe la forma en que se debe reportar la información y los datos correspondientes a la caracterización de la infraestructura vial o mallas viales en el territorio colombiano; con base en dicha normativa, para la realización de la caracterización vial o el diagnóstico de algún tipo de vía, se tiene en cuenta la presentación de la información de acuerdo a la caracterización efectuada mediante la metodología establecida por el Ministerio de Transporte, la información es presentada mediante un archivo SIG, teniendo en cuenta los lineamientos de la resolución y el análisis donde

se determina el nivel de priorización de la vía con base en los parámetros dictados por el CONPES 3857 [8].

Debido a la importancia y la problemática que desencadena la caracterización vial en los municipios y regiones, y la necesidad de efectuar el seguimiento que requiere la infraestructura vial, para determinar su estado y lograr garantizar el mantenimiento o rehabilitación óptimo y necesario, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Es posible realizar caracterización vial mediante el uso de drones empleando metodología de fotogrametría?

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

Evaluar las oportunidades y beneficios de realizar caracterización vial con el uso de drones por medio de la metodología de fotogrametría.

### **2.2. Objetivos Específicos**

1. Describir los diferentes métodos utilizados convencionalmente en la implementación de caracterización de la infraestructura vial, para evidenciar las propiedades y características de cada técnica.
2. Revisar las especificaciones técnicas del vehículo aéreo no tripulado de tipo ala fija y adicionalmente exponer las propiedades y funciones de los drones, para identificar su potencial.
3. Realizar la comparación de características entre las metodologías tradicionales y el uso de drones para la caracterización vial, a través de la revisión de experiencias en estudios efectuados para evidenciar la factibilidad de su uso frente a métodos convencionales.
4. Presentar la factibilidad del uso de drones en la metodología de fotogrametría para la realización de caracterizaciones viales.

### 3. Justificación

La caracterización vial es importante para evitar dificultades al momento de tener un diagnóstico preciso de los avaluos, es necesario realizar levantamientos de campo como aforos de transporte para medir la frecuencia de las rutas que circulan por la intersección y que prestan un servicio a los usuarios, posteriormente está el estado de la malla vial, el cual va a ser evaluado por medio de un reconocimiento visual para la determinación de la condición o el estado actual del pavimento, variable que permite determinar el estado de la vía (excelente, muy buena, buena, malo y fallado) [3].

Actualmente, con el desarrollo de la Tecnología de Información y Comunicación (TIC) se le ha facilitado al hombre la ejecución de proyectos en este ámbito, es por ello, que se desea realizar la caracterización vial con el uso de drones empleando metodología de fotogrametría; definida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) como la técnica que busca conocer las dimensiones y posición de objetos en el espacio, mediante la toma y el análisis de una o más fotografías, o de una fotografía y el modelo digital que corresponde a un lugar específico [9].

El uso de la fotogrametría para el levantamiento de la superficie terrestre en vías va avanzando acorde a la tecnología, en la actualidad para realizar este tipo de levantamientos fotogramétricos se están implementando vehículos aéreos no tripulados (UAV), mejor conocidos como drones, mejorando así los resultados obtenidos después del levantamiento fotogramétrico e incluyendo dentro de sus normas la aplicación de este método para el levantamiento de vías. A nivel nacional, en la actualidad el uso de drones con fines de levantamiento fotogramétrico viene usándose para

la obtención de cartografía más no para caracterización de vías, ya que para ello se utiliza el levantamiento topográfico convencional [8].

El uso de drones puede significar una mejora en la reducción de costos y tiempo de realización cartográfica, puesto que da como resultado datos precisos y exactos en archivos digitales, este método puede manejar una gran cantidad de información con mayor facilidad, haciendo que la fotogrametría con drones sea una herramienta muy útil para la realización de descripción topográfica del relieve del terreno de un proyecto, de sistema de información geográfica y la elaboración de cartografía. Siendo así que el levantamiento topográfico con dron sea confiable [10].

#### 4. Antecedentes

Con el objetivo de conocer acerca de estudios que se han realizado en materia de la caracterización de la infraestructura vial y que tipo de usos se le ha brindado al dron en el ámbito de la fotogrametría; se realizó una revisión bibliográfica de diferentes proyectos enfocados en el uso de drones para determinar e identificar las características y propiedades de algún tipo de estructuras como principalmente vías o construcciones. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se pueden destacar los siguientes estudios:

Se caracterizó el proyecto Ruta al Mar II localizado en Antioquia, Colombia; proyecto en el cual se plantea la intervención y el mantenimiento de 245 kilómetros de vía. La caracterización se efectúa mediante información LIDAR, topo-batimétrica, softwares e imágenes digitales; para ello, se procesaron los datos obtenidos en los softwares utilizados, se generaron planos y dibujos partiendo de la información topográfica, se realizó la captura cartográfica de edificaciones, vías y caminos, a través de imágenes de intensidad y ortofotografías. Las actividades desarrolladas permitieron el análisis de aspectos como el mejoramiento de la calzada, mantenimientos, operaciones necesarias y la rehabilitación de los aspectos actuales [11].

En el desarrollo del proyecto mencionado anteriormente se evidencia la caracterización vial de la zona estudiada y se atribuye el uso de métodos convencionales como las imágenes satelitales y cartografía. La revisión de este documento contribuye en este proyecto, debido a que brinda bases para la realización de la caracterización vial por medio de métodos fotogramétricos, teniendo en cuenta que este proyecto busca analizar un medio relativamente nuevo como lo es el uso de drones. Por otro lado, se evaluó el uso del dron para monitorear los procesos de compactación del pavimento de un camino, para ello, se propuso capturar fotografías aéreas de la obra para su

análisis digital y posteriormente, realizar la descripción de las características observadas relacionadas con la textura y la compactación del pavimento. De los resultados obtenidos se destaca la obtención de imágenes RGB (rojo, verde y azul), lo cual permitió que estas sean estudiadas a través de procesos digitales y además de ello, se obtuvo información visual de la textura del pavimento. Sin embargo, el autor aclara que la toma de fotografías y videos por parte del drone, son exitosas siempre y cuando el operador no realice movimientos en las capturas y mantenga la altura adecuada y necesaria para lograr obtener los resultados propuestos. No obstante, el desarrollo de esta tesis permitió evidenciar nuevas oportunidades para la optimización de procesos constructivos, donde el drone aporta una solución rápida y eficiente para la obtención de información de las características del pavimento [12].

Esta tesis aporta positivamente en el desarrollo del presente proyecto, debido a que puntualiza ventajas y desventajas que pueden reflejarse en el momento de utilizar un drone para la caracterización de determinadas estructuras. Sin embargo, se aclara que esta metodología es valiosa y rentable para realizar caracterizaciones puntuales.

En la ciudad de Bogotá, se realizó una evaluación de la condición del pavimento de la carrera 69b sur y calle 9 sur en el barrio Villa Claudia; el objetivo del proyecto radica en el diagnóstico superficial del pavimento mediante las metodologías VIZIR y PCI. Para la elaboración de dicha evaluación, utilizaron el drone DJI Phantom 4 pro y posteriormente procedieron a identificar los daños encontrados, establecer la condición del pavimento y comparar los resultados de cada método. Con respecto a la caracterización obtenida de la metodología PCI, se puede decir que el 32,89% de la vía se encuentra en estado regular, el 13,16% está fallado, el 26,32% presenta un estado bueno, el 9,87% está en un estado muy malo, el 9,87% se encuentra en estado muy bueno y el 7,89% presenta un estado excelente. Mediante el método VIZIR, se clasificó la vía mediante

los siguientes estados: el 82,24% está en estado regular, el 14,47% se encuentra en estado excelente y el 3,29% presenta un estado deficiente. El estudio concluye con el análisis de dichos resultados, clasificando principalmente el estado del pavimento como regular y además de ello, califica positivamente el uso del dron como una herramienta tecnológica útil en la auscultación visual del pavimento [1].

De este estudio se puede identificar que la caracterización de la infraestructura vial puede resultar más exitosa al mezclarlas con metodologías de auscultación como PCI o VIZIR, debido a que son técnicas ya establecidas que pueden complementarse con la metodología fotogramétrica para la obtención de resultados más detallados y encaminados a un análisis determinado como la clasificación de estado del pavimento mediante rangos.

Asimismo, un grupo de investigadores llevaron a cabo la realización de un artículo cuyo objetivo se basó en estudiar la viabilidad del uso de drones para inspeccionar defectos en pavimentos asfálticos, comparándolos con métodos tradicionales; para ello, se realizó una inspección con cada uno de los métodos y se procedió a efectuar un análisis comparativo, del cual se obtuvo que con el método tradicional se encontraron 54 patologías o defectos, mientras que en el estudio con el dron se encontraron 53, sin embargo, se demuestra la factibilidad de utilizar dicha herramienta para la identificación de defectos en los pavimentos, ya que se obtuvo un 94,4% de aciertos con respecto a métodos tradicionales y además de ello, ventajas como la optimización de operaciones, debido a que se emplea menos cantidad de tiempo de estudio y se obtienen resultados satisfactorios. También se recomienda el uso de tecnología avanzada como drones con sensores multiespectrales que permitirían generar un valor agregado en la inspección [13].

Este estudio aporta significativamente al desarrollo del presente documento, debido a que da vía libre a que el empleo de drones con metodología fotogramétrica es un método viable para la

caracterización de la infraestructura vial e incentiva a querer generar un estudio más enfocado y detallado de esta temática.

De los proyectos estudiados y resumidos anteriormente, se logra observar que a través del tiempo han aumentado los estudios enfocados en la caracterización de infraestructuras mediante el uso de drones, sin embargo, aún es una temática bastante limitada con respecto al enfoque que se desea obtener, debido a que el drone ha sido mayormente utilizado para la identificación de propiedades específicas de algún tipo de estructura como por ejemplo edificaciones, o se hace uso de él, para caracterizar algún proyecto específico. Por tal motivo, este proyecto se encamina principalmente en la caracterización vial mediante el empleo de drones a través de la metodología fotogramétrica.

## **5. Marco Teórico**

### **5.1. Fotogrametría**

Las técnicas fotogramétricas son las más utilizadas en la generación de modelos digitales de elevación. La fotogrametría se puede definir como la metodología que permite la obtención de datos cualitativos y cuantitativos mediante el uso de fotografías; esta técnica se puede dividir en métricas o interpretativas, la fotogrametría métrica es aplicable para la determinación de distancias, aéreas, volúmenes y para la elaboración de mapas. En el desarrollo de este proyecto se tiene en cuenta la fotografía aérea a través de la utilización de vehículos aeronáuticos no tripulados [14].

Por su parte, la fotogrametría aérea se caracteriza por ser fotografías obtenidas desde vehículos aéreos, las cuales proporcionan planos de grandes extensiones de terrenos; se utiliza una cámara métrica con su eje óptico sensiblemente perpendicular al terreno o corteza terrestre. En la Aerofotogrametría no se excluye ningún detalle del terreno ya que está destinada a proporcionar, de una manera sencilla, información sobre la superficie topográfica [15].

Mediante el método de levantamiento fotogramétrico con el uso de drones, se puede tener información topográfica del terreno, dando facilidad a la realización de proyectos, ya que todos los resultados obtenidos se encuentran en archivos digitales. Mediante este método se puede emplear una gran cantidad de información con mayor facilidad, haciendo que la fotogrametría con drones sea una herramienta muy útil para la realización de descripción topográfica del relieve del terreno de un proyecto, sistema información geográfica (GIS), y la elaboración de cartografía [16].

### **5.2. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) o Drone**

El UAV (Unmanned Aerial Vehicle) es un vehículo aéreo no tripulado, estos son usados en aplicación de uso civil ya que cuenta con la capacidad de mantener un mismo nivel de vuelo

controlado y sostenido, propulsado por un motor de explosión o de reacción. Un dron topográfico estándar tiene la capacidad de cubrir durante un día 100 hectáreas de terreno, no obstante, existen drones más avanzados que pueden cubrir sin problemas hasta 5.000 hectáreas diarias [17].

A continuación, en la tabla 1 se presenta la caracterización de drones según su estructura y en la tabla 2 la caracterización según su peso:

**Tabla 1.** Tipo de dron según su estructura

<b>SEGÚN SU ESTRUCTURA</b>	
<b>AVIÓN O ALA FIJA</b>	Están basados en los aviones de ala fija, pueden ser impulsados por un sistema de propulsión de hélices o turbinas. Son de mayor autonomía de vuelo, por tanto, incrementan su rango de alcance y prolonga el tiempo de duración de su batería. La desventaja es la incapacidad de suspensión en el aire. Estos drones necesitan una pista de despegue y aterrizaje.
<b>HELICÓPTERO O ALA ROTATIVA</b>	Cuenta con dos alas giratorias con un solo rotor de sustento, estas le brindan una mayor libertad de movimiento y capacidad de mantenerse suspendido en el aire; a pesar de eso tienen una menor autonomía y mayor complejidad para controlar el equipo.
<b>MULTIROTOR</b>	Su estructura está conformada por un sistema de alas giratorias, con un rotor para cada sistema de propulsión. Según sus rotores se clasifican en: tricópteros (3), cuadricópteros (4), hexacópteros (6) y octacópteros (8).

*Nota.* Realizada por los autores a partir de información recolectada [18].

**Tabla 2.** Tipo de dron según su peso

---

<b>SEGÚN SU PESO</b>	
<b>CLASE I (&lt; 150 KG): DRONES MINI O PEQUEÑOS</b>	Están diseñados en dimensiones pequeñas (30 a 50 centímetros de longitud), y su forma se asemeja a la de un insecto con alas.
<b>CLASE II (150-600 KG): DRONES TÁCTICOS</b>	Estos tienen un peso elevado lo que los hace bastante pesados, pueden medir aproximadamente cinco a diez metros y se utilizan como drones de cargas útiles (100 a 200 kg de carga).
<b>CLASE III (&gt;600 KG): DRONES ESTRATÉGICOS</b>	Por su tamaño y peso superior a los 600 kg son los más empleados en operaciones militares.

---

*Nota.* Realizada por los autores a partir de información recolectada [14].

### 5.3. Caracterización Vial

La caracterización no se lleva a cabo para proyectos nuevos, ya que en ellos no se tiene certeza de su implementación en el tiempo, por ende, la caracterización solo se realiza en vías existentes. Para eso es necesario analizar y realizar una investigación para conocer si la vía está o no clasificada en la red vial nacional, así se podrá determinar si hace parte de una troncal o transversal, igualmente se debe verificar si forma parte de la red del Plan Vial Regional de algún departamento [19].

A continuación, en la tabla 3 se presenta el índice de condición del pavimento en la caracterización vial:

**Tabla 3.** Índice de condición de pavimento

TIPO	DESCRIPCION	EVIDENCIA
Piel de cocodrilo	Se evidencian como un grupo de fisuras acopladas entre sí que forman polígonos de longitud de hasta 0.5 metros en el lado más largo. El modelo tiene una similitud a la piel de un cocodrilo, de ahí el nombre de esta falla. Esta indica la pérdida de la estructura del pavimento, lo que disminuye su capacidad de resistencia.	
Exudación	Es una película de material bituminoso que se alarga sobre gran parte del área del pavimento, dejando una superficie brillante, resbaladiza y reflectante que por lo general llega a ser pegajosa. La exudación ocurre durante tiempo cálido.	
Fisura en bloque	Se presentan como grietas interconectadas que forman piezas rectangulares de tamaño variable. Son originadas principalmente por la contracción del concreto asfáltico y por la variación de temperatura.	
Abultamiento y hundimientos	Son desplazamientos pequeños y bruscos, que distorsionan el perfil de la carretera. Se dan cuando la superficie del pavimento cede hacia arriba y hacia abajo.	
Corrugación	Se genera como una serie de ondulaciones compuesta por cimas y depresiones muy cercanas entre sí. Se da a causa de la acción del tránsito vehicular y por la inestabilidad de las capas superficiales o la base del pavimento.	

## Depresion

Se da en áreas situadas en la superficie del pavimento las cuales disponen de niveles de elevación menores a los de su alrededor. Son producidas por asentamientos de la subrasante o debido a procedimientos de construcción defectuosa.



## Fisuras de borde

Este tipo de fisura, es originado por el debilitamiento de la base o de la superficie de la carretera, por lo general este tipo de fisura es originada en áreas próximas al borde del pavimento.



## Desniveles de carril - berma

Es conocida como la diferencia entre el borde del pavimento y la franja longitudinal a la calzada, es causada principalmente por la erosión de la misma.



## Fisuras longitudinales y transversales

“Las fisuras longitudinales son grietas paralelas al eje de la vía o a la línea direccional en la que fue construida. Las grietas transversales, en cambio, son perpendiculares al eje del pavimento o a la dirección de construcción” (p. 56).






## Agregado pulido

Es conocido como una pérdida de resistencia, principalmente en el deslizamiento del pavimento, ocurrido en el momento que los agregados de la superficie de la calzada se consideran suaves al tacto.



---

Baches	Los baches son presentados en la superficie del pavimento como pequeños hundimientos con bordes agudos y lados verticales.	
Surcos Longitudinales	Estos surcos son el resultado de la erosión de la carretera, causada por el agua que fluye desde el centro de la carretera hasta uno de los costados en lugar de tomar las cunetas, la intensidad de este tipo de deterioro depende principalmente de la cantidad de agua que se involucra y de la velocidad de los cursos de agua que se forman.	
Ahuellamiento (AHU)	Este tipo de deterioro proviene de los esfuerzos producidos por las ruedas de los vehículos, presentando mayor deterioro cuando el vehículo es más pesado.	

---

*Nota.* Realizada por los autores a partir de información recolectada [11].

## 6. Metodología

La metodología de esta investigación es de tipo analítico, debido a que consiste principalmente en establecer diferencias entre los métodos tradicionales de caracterización vial y la metodología de fotogrametría; este proyecto tiene un enfoque cualitativo, ya que, la información recolectada no es cuantificable [20].

La técnica a utilizar es la recolección de información mediante revisiones bibliográficas de fuentes secundarias como artículos de investigación, revistas, libros, informes institucionales e información de otros documentos que apliquen para el desarrollo de este proyecto.

Para llevar a cabo esta investigación se plantean las siguientes tres etapas:

1. En la primera etapa se realizará la descripción de los métodos utilizados tradicionalmente, para la caracterización de infraestructura vial y las ventajas que traería si se realiza con la ayuda de drones.
2. En la segunda etapa se investigará sobre la metodología de fotogrametría, con el fin de conocer su concepto, aplicación, las ventajas y desventajas en su implementación; seguidamente, se describirán las funciones y propiedades de los drones, haciendo énfasis en el dron de ala fija, con el objetivo de lograr establecer un análisis que permita afianzar la ejecución de una caracterización vial empleando esta ciencia a través del uso de drones.
3. En la tercera etapa se llevará a cabo la comparación de las metodologías expuestas en la etapa anterior y el método fotogramétrico a través de drones para la caracterización vial. Esta comparación se realizará a través de un cuadro, el cual se registrará mediante el análisis de estudios efectuados, donde se implementen dichas metodologías y del cual se

observan experiencias o vivencias que permitan identificar características propias de cada método.

4. Por último, en la cuarta etapa se expondrá la factibilidad de la implementación de drones como técnica de fotogrametría para el uso en la caracterización vial. Esta fase se llevará a cabo con base en la información recolectada en las etapas anteriores, dando resultado al cumplimiento del objetivo general, y logrando así establecer recomendaciones y sugerencias para futuros estudios del mismo campo de investigación.

## **7. Desarrollo de la metodología**


### **7.1. Métodos utilizados convencionalmente en la implementación de caracterización de la infraestructura vial.**

La caracterización y evaluación del estado de la infraestructura vial se efectúa por medio de métodos que permiten recopilar y examinar información de estas. El rol que cumplen estos métodos convencionales, es servir al impulso del desarrollo social y económico y a la conexión de zonas pobladas [6]. La caracterización vial es el punto de partida a la implementación de una buena planificación y toma de decisiones de inversiones efectivas en beneficio de la movilidad.

Para realizar una buena planificación y gestión vial, es necesario la implementación de un registro vial que establezca la extensión real de la red en cada municipio, además de sus características geométricas, topográficas y funcionales de las vías. Para ello, se llevan a cabo y se implementan métodos y herramientas que ayudan a la ejecución de un sistema de información geográfico, con la finalidad de que sea perdurable en el tiempo y de fácil actualización [21].

En la actualidad, los métodos utilizados convencionalmente en la implementación de la caracterización vial, son los métodos VIZIR y PCI, los cuales se implementan en la caracterización por medio de inventarios manuales e inspecciones visuales. A continuación, se presenta una comparación de estos métodos.

**Tabla 4. Método de evaluación del estado de las vías**

<b>VIZIR</b> <i>(visión Inspection de Zones et Itinéraires Á Risque)</i>	<b>PCI</b> <i>(Paviment Condition Index)</i>
<p>Este método se basa en clasificar los deterioros de los pavimentos asfálticos en las categorías tipo A y B.</p> <p><b>Categoría A:</b> son daños asociados a la escasa capacidad de tipo estructural, es decir, la degradación, deformación, desperfectos y fisuramientos que van sujetos a la fatiga del pavimento.</p> <p><b>Categoría B:</b> esta categoría es de tipo funcional, está asociada a los aspectos constructivos como los fisuramientos que son ajenos a asuntos distintos de la fatiga del pavimento, los desprendimientos y los afloramientos.</p>	<p>Se utiliza para cualquier tipo de pavimento y establece clase, severidad y cantidad de daño presente. Este es un indicador numérico que da un valor y una condición al pavimento, además provee una medida de condición in situ apoyada en las fallas que se perciben en la superficie.</p> <p>El Método PCI varía de [0 a 100], según su índice numérico [0] es un pavimento en pésimo estado y [100] un pavimento en perfecto estado.</p> 

*Nota:* Información tomada del análisis comparativo de los resultados entre los métodos VIZIR y PCI aplicados a un tramo de 1.6 km vía Jipijapa- Chade [22].

A continuación, son presentados otros métodos utilizados en la caracterización vial.

### 7.1.1. Método SIG

Este método se basa en una herramienta de análisis de información que está compuesta por un hardware, software y procedimientos de captura, manejo, manipulación, análisis, modelado y representación de datos georreferenciados [23]. Es decir, tal información tiene una referencia

espacial y debe mantener una inteligencia propia sobre la topología y representación, con la finalidad de solucionar problemas de gestión y planificación.

Es una forma muy eficiente de dar origen a conocimientos de la realidad, asimismo facilita la tarea de trabajo espacial a través de distintas capas temáticas, permite la inserción de modelos algorítmico-lógicos y la representación gráfica para una mayor efectividad en la toma de decisiones. El SIG es el intermediario en la toma de decisiones del mundo real y su interlocutor, eludiendo la pérdida de tiempo en la búsqueda de información a través de ficheros manuales y ordenadores a fin de facilitar los trabajos y mejorar los conocimientos de la realidad. Elimina la existencia de duplicaciones y los errores provocados al tener la información repartida en diferentes fuentes inconexas; además asegura la actualización de la misma [24].

### **7.1.2. Método de calicatas**

Se basa en la investigación de las condiciones estructurales de cada capa que forman el pavimento, este método permite conseguir una visualización de las capas de la estructura expuestas a través sus paredes, asimismo realizar ensayos de densidad “in situ” o penetraciones. Estas determinaciones permiten saber el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales que la componen, lo cual permite recoger muestras de cada material hasta la subrasante y realizar ensayos de capacidad de carga para posteriormente determinar un valor en el laboratorio con las muestras remitidas. Con la extracción de las muestras del pavimento se puede conocer los espesores de las capas y determinar los diferentes materiales que constituyen a las capas y la subrasante [25].

### **7.1.3. Método por perforaciones**

Es un método semi-destructivo que consiste en aberturas en el pavimento, esta metodología es menos costosa y de una operación más sencilla en comparación con la materialización de calicata. Las perforaciones son elaboradas con la ayuda de equipos de calado, barrenos, saca muestras, olladoras, etc. Para la toma de muestras se utiliza un instrumento portátil de pequeñas dimensiones que sirve para evaluar la capacidad de carga del pavimento. Mediante la operación de este método se da una idea rápida de los materiales que componen la estructura del pavimento, los espesores en los cuales estas intervienen y el estado real de dichas capas [25].

### **7.1.4. Método de auscultación visual o superficial**

Permite a través de técnicas invasivas y no invasivas, hacer una evaluación del estado de un pavimento. La inspección visual, es una técnica no invasiva que puede ser aplicada en forma manual o mecanizada, la cual permite medir la extensión, identificar y caracterizar la severidad superficial del daño en el pavimento con el fin de tomar las acciones correctivas para su reparación [26].

## **7.2. Ventajas y desventajas de caracterización vial con método fotogramétrico con drones**

Mediante la implementación de equipos modernos y apoyados en la fotogrametría con el uso del UAV se pueden realizar levantamientos topográficos que ayudan a una mejor experiencia y precisión en los trabajos realizados logrando disminuir significativamente el personal para dicho trabajo. El empleo de equipos topográficos convencionales no permite realizar trabajos de esta envergadura en un tiempo menor ni con la precisión exigida, por otro lado, utilizaría un mayor personal. Por lo expuesto, se presentan a continuación las ventajas y desventajas del uso de la fotogrametría con drones [27].

**Tabla 5.** Ventajas y desventajas del método de fotogrametría con drones

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>Una de las principales ventajas más notable de la aplicación de la técnica de fotogrametría digital con UAV en los levantamientos topográficos, es la alta precisión que presenta, se debe a la visión estereoscópica, Esto permite identificar correctamente los detalles topográficos, la digitalización directa de los polígonos y la acertada georreferenciación de las líneas resultantes.</p>	<p>Una de su desventaja es el alto consumo de energía que necesitan los UAV para mantenerse en vuelo y su autonomía, lo que puede ocasionar un bajo rendimiento operacional, disminuyendo el tiempo de uso para el trabajo.</p>
<p>Permite realizar estudios multitemporales por medio de la utilización de distintos vuelos fotogramétricos logrando un monitoreo del avance de un proyecto.</p>	<p>Es necesario de una gran inversión económica para adquirir un dron y un software capaz de llevar a cabo las tareas de levantamiento topográfico.</p>
<p>La fotogrametría con drones reemplaza significativamente a la topografía tradicional, tanto en costos, calidad de producto y tiempo, generando resultados con casi las mismas precisiones de la topografía convencional.</p>	<p>Otra de las desventajas en cuanto a imágenes arrojadas por la cámara de estos vehículos es la baja capacidad respecto a su resolución espectral, arrojando menores resoluciones espectrales.</p>
<p>La implementación de vehículos aéreos no tripulados y software de proceso, para realizar un levantamiento topográfico mediante el método fotogramétrico incrementa significativamente el rendimiento y precisión, en comparación de aérea un levantamiento topográfico utilizando el método convencional GNSS</p>	<p>El impedimento de la captura de datos por arboles o edificios que pueda atravesarse, lo cual obliga a buscar diferentes ángulos para la toma de fotografías.</p>

## ***7.2.1. Especificaciones técnicas del vehículo aéreo no tripulado de tipo a la fija, propiedades y funciones de los drones***

### **7.2.1.1. Metodología de fotogrametría**

#### ***7.2.1.1.1. Definición***

La fotogrametría es una técnica útil para capturar información en un espacio y a una distancia determinada, lo cual permite obtener datos de objetos específicos, entornos y ambientes. Esta metodología estudia la forma, dimensiones, posición, entre otras propiedades de uno o varios objetos, que son analizados mediante fotografías, es decir, este método permite obtener una representación de objetos o espacios de una forma más económica, teniendo en cuenta la cantidad de información que se obtiene [28].

Este método puede llevarse a cabo mediante la obtención de fotografías digitales ya sean aéreas, terrestres o a través de un satélite y su proceso consiste básicamente en las siguientes etapas: obtención de la imagen, medición de la imagen, procesamiento de la información y el modelo del objeto o espacio estudiado [29].

#### **7.2.1.2. Aplicabilidad**

La fotogrametría ha sido útil en aplicaciones tales como agricultura de precisión, inspección de estructuras, ordenamiento urbano y vial, aplicaciones científicas, observación terrestre, cartografía, cuantificación de la erosión hídrica, inspección de terrenos, entre otras aplicaciones en el campo de la investigación a mediante el uso de sistemas autónomos no tripulados como los drones [30].

#### **7.2.1.3. Ventajas y desventajas de la fotogrametría**

Se entiende por fotogrametría a la técnica que tiene como objetivo estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando

esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías” ([31]; p. 46), cuya precisión depende de factores como el tipo de instrumento que se implementa, la calibración de estos y el grado de perfección de estos y los procedimientos aplicados; en este tipo de procesos, se obtiene como resultado una producción cartográfica obtenida a través de la toma de fotografías de la zona y las coordenadas tridimensionales de dicha área, mediante las cuales se logra obtener como resultado diversos productos, tales como planos cartográficos, modelos digitales de elevación y ortofotos. Las ventajas y desventajas más notables de la fotogrametría son.

**Tabla 6.** Ventajas y desventajas de la fotogrametría en general

Ventajas	Desventajas
Toma de imágenes y reconocimiento del terreno en poco tiempo	Los equipos son costosos y deben ser transportados con cuidado e implementados con precaución
Requiere de menos personal para llevar a cabo los procesos	Requiere de personal capacitado para la operación de cada equipo implementado
Método económico para la obtención de imágenes, análisis y elaboración de cartografías y modelos digitales en amplio terreno	Resulta costoso de implementar para el estudio de pequeñas áreas
Dependiendo del método empleado, se pueden llevar a cabo los procesos de campo en poco tiempo	Cierta tipo de objetos puede obstaculizar la captura de fotografías.
Amplia aplicabilidad	Los procesos se limitan por las condiciones climáticas y topográficas del terreno
Generación de productos virtuales	Se necesitan softwares que permitan analizar y procesar la información obtenida

---

Mediante mediciones en las fotografías, genera planos y mapas de gran exactitud	No interpreta fenómenos
Elabora mapas y/o planos partiendo de fotografías	Dichos mapas y planos solo se pueden diseñar bajo unos condicionantes específicos

---

## **7.2.2. Fotogrametría con drones**

### **7.2.2.1. Definición**

Los UAV o drones, han causado una verdadera revolución tecnológica, al ser equipos mecánicos simples controlados mediante la regulación de la velocidad de rotación de varios motores [32]. Estos equipos han impulsado el desarrollo de diferentes áreas industriales, permitiendo satisfacer y crear servicios innovadores, ya que actúan como una estación aérea para recopilar o capturar información [33]. Así mismo, son aeronaves a propulsión no tripuladas que operan a través de la manipulación, distancia y autónomamente, cuya función principal es obtener datos geoespaciales [34].

La fotogrametría ha sido útil en aplicaciones tales como agricultura de precisión, inspección de estructuras, ordenamiento urbano y vial, aplicaciones científicas, observación terrestre, cartografía, cuantificación de la erosión hídrica, inspección de terrenos, entre otras aplicaciones en el campo de la investigación a mediante el uso de sistemas autónomos no tripulados como los drones [30].

### **7.2.2.2. Aplicación**

Estos instrumentos son esenciales para la realización de trabajos aéreos, debido a que pueden ser usados para diferentes objetos de estudio por su amplia variedad de servicios como inspecciones de obras civiles, filmografía, reconocimientos y toma de datos en zonas de desastres,

levantamientos de mapas, monitorización de contaminación atmosférica, monitoreo y cuidado de cultivos, supervisión del tráfico vehicular, monitoreo y control de incendios, localización de recursos naturales, enlace de comunicaciones, entre otros [32].

La aplicabilidad de los drones en la ingeniería civil ha tomado importancia a través de los últimos años, al ser una herramienta novedosa que permite obtener imágenes aéreas y capturar datos o información requerida para ser empleada en la fotogrametría. Sin embargo, es un tema que requiere de aceptación en este campo de acción [35].

### 7.2.2.3. Tipos de drones

Según Ruipérez Martín [36], Los vehículos aéreos no tripulados, según su forma de sustentación, se pueden clasificar en drones de ala fija o drones multirotor o multicoptero.

Los drones multirotor o multicoptero poseen un sistema que se basa en realizar un giro invertido y simultáneo de sus cuatro hélices, de las cuales, dos giran en sentido de las manecillas del reloj y otras dos en sentido contrario, esto con el fin de crear la fuerza de empuje que necesita el equipo para lograr elevarse.

**Figura 1.** Drones Multimotor



*Nota:* estos drones cuentan con más de dos motores sostenidos por una serie de brazos, y también, pueden mantener posiciones estáticas gracias a sus giroscopios o estabilizadores, es decir, a sus componentes electrónicos [36].

**Figura 2.** Drones de ala fija



*Nota:* [37]. los drones de ala fija cuentan con una capacidad de vuelo alta y son aptos para alcanzar grandes velocidades al recorrer largas distancias. Estructuralmente están conformados por un fuselaje y unas alas fijas, diseños que son característicos de las aeronaves militares [36].

#### **7.2.2.4. Especificaciones**

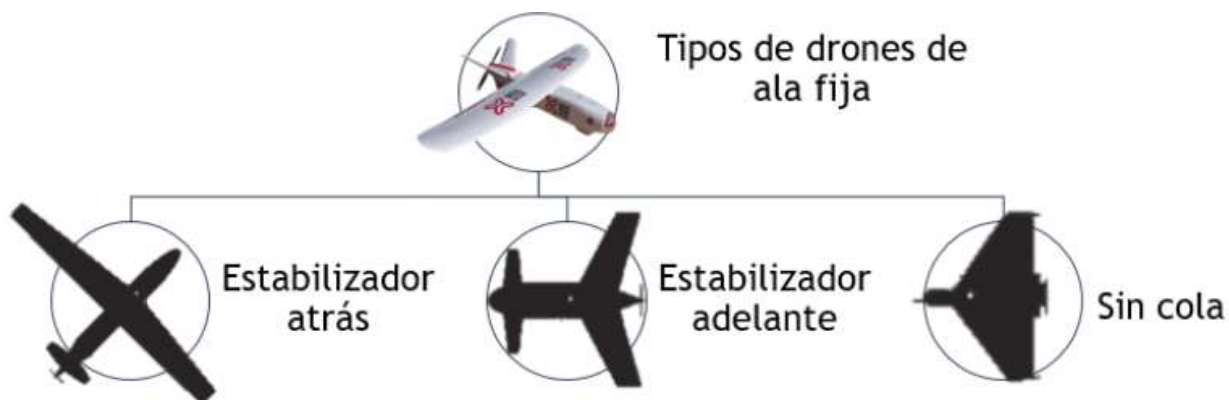
El tipo de dron es seleccionado dependiendo de la actividad que se desea realizar o el objetivo que se desea alcanzar, por ello, si se desea recolectar información cartográfica donde se requieran vuelos y alturas superiores, es necesario contar con un dron de ala fija, ya que el dron de ala rotativa es utilizado en velocidades bajas [34].

Haciendo énfasis en el dron de ala fija, estos son impulsados por uno o más motores y su comportamiento en vuelo es controlado mediante superficies aerodinámicas [38]. Así mismo, este tipo de UAV requiere de un espacio, área o pista para despegar o aterrizar y se subdivide en tres

tipos según su levantamiento estabilidad y control: estabilizador atrás o en popa, estabilizador adelante y sin cola [39].

Moncada Arias y un grupo de investigadores, indican que la aeronave de ala fija de tipo estabilizador atrás o en popa se caracteriza por tener la superficie de control en la parte posterior y detrás del ala principal, lo cual lo hace mayormente sensible; por su parte, la aeronave de tipo estabilizador adelante se caracteriza por poseer el elevador delante del ala para mejorar su estabilidad horizontal. Sin embargo, esto dificulta el cambio de dirección; así mismo, la aeronave sin cola se caracteriza por no poseer estabilizador horizontal, es decir es retirado y por lo tanto no se genera arrastre [40].

**Figura 3.** Tipos de UAV de ala fija



*Nota.* Elaboración propia a partir de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia para determinar ilícitos ambientales [40].

**Tabla 7.** Diferencias y semejanzas de los drones según su forma de sustentación.

<b>DRON MULTIROTOR</b>	<b>DRON DE ALA FIJA</b>
<b>DIFERENCIAS</b>	
Cuenta con una capacidad de tiempo de vuelo menor a los drones de ala fija.	Tienen gran capacidad de vuelo, capaces de recorrer grandes distancias logrando una gran velocidad
Puede mantenerse en posición estática.	Durante el vuelo se mantienen en constante movimiento.
Al lograr mantenerse estáticos en el aire permiten captar mejores imágenes y de la misma manera una observación más clara.	Se obtienen imágenes buenas, pero con un poco más de complejidad, por lo tanto, debe contar con buenas cámaras.
Carga útil mayor.	Carga útil menor.
Maniobrabilidad mayor.	Maniobrabilidad menor.
<b>SEMEJANZAS</b>	
Son diseñados según el área de aplicación requerida.	
Su costo varía dependiendo del tamaño, autonomía de vuelo, los dispositivos que se le acoplan y otros.	
Las áreas de aplicación más comunes para este tipo de drones son:	
Mapeo de terrenos.	
Inspección de infraestructuras.	
Monitoreo y vigilancia.	
Imágenes y video aéreo.	
Búsqueda y rescate.	

Partiendo de la revisión bibliográfica realizada para este acápite, se identifica que el tipo de dron que mejor se ajusta a los requerimientos necesarios para la captura de datos para emplear la metodología de fotogrametría es el UAV de tipo ala fija, y teniendo en cuenta que en este documento se hace referencia a la implementación de la fotogrametría a través de drones aplicados a la caracterización vial, el tipo de dron de ala fija, permite extenderse a vuelos y alturas más altas, garantizando la toma clara y total de la información cartográfica necesaria.

### **7.3. Comparación de experiencias de las metodologías tradicionales y el uso de drones para la caracterización vial**

#### **7.3.1. Caracterización vial a través de metodología SIG**

Se elaboró un proyecto en Fusagasugá, Cundinamarca basado en la implementación de sistemas de información geográfica para caracterizar la infraestructura vial, para ello, realizaron un estudio de las características de las obras, recolectaron información de campo y la analizaron mediante plataformas como *ArcGis Online*. Este estudio permitió identificar variables determinantes de la caracterización de vías en la zona de investigación y la estructuración de una geodatabase; además de ello, el proyecto se complementó con imágenes, las cuales representaron el espacio geográfico y la aplicación de la plataforma web abre paso a mejores ideas para la elaboración de futuros proyectos [23].

#### **7.3.2. Caracterización vial a través de la metodología PCI**

Un grupo de investigadores realizaron la caracterización vial de un tramo en Tacna, Perú; empleando la metodología PCI para determinar la condición del pavimento, para ello, se realizó el levantamiento de la información según las fallas encontradas visualmente, se llevó a cabo un registro de longitudes y niveles de severidad de cada falla, seguido se realizó el cálculo del valor

numérico PCI, mediante el cual se brinda un rango establecido de la condición del pavimento en estudio. De los resultados obtenidos se puede destacar que se logró identificar los tipos de fallas que se presentan en las vías y se logró realizar sugerencias para mejorar las condiciones y dar solución a dichas problemáticas [41].

### ***7.3.3. Caracterización vial a través de la metodología VIZIR***

Se realizó la caracterización vial de la Avenida Boyacá, en la ciudad de Bogotá, con el objetivo de calificar y clasificar el tramo estudiado según su estado, dicha caracterización se realizó mediante la metodología de auscultación VIZIR; para ello, se aplicó el método, se estableció el porcentaje de daño y se brindó un diagnóstico de la vía, clasificando su condición superficial, para finalmente realizar un análisis de los resultados encontrados. De los resultados obtenidos se puede destacar que la vía se encuentra en un estado “bueno”. Sin embargo, los autores aclaran que la metodología PCI tiene un amplio rango de calificación a diferencia del método VIZIR que es más reducido, lo cual lo hace menos preciso; no obstante, la metodología VIZIR es más sencilla por su estructura [42].

### ***7.3.4. Caracterización vial a través de la metodología de fotogrametría con drones***

Se llevo a cabo un estudio en Madrid, España, con el objetivo de determinar la viabilidad de utilizar drones para identificar deformaciones en terrenos y estructuras; y así mismo analizar su factibilidad frente a otras técnicas; para ello, los investigadores usaron drones con sistema integrado RTK, lo cual permite obtener resultados más precisos. De los resultados obtenidos se puede destacar que la fotogrametría con dron es aplicable para lo que se requiere, ya que se identificaron deformaciones y se logró tomar planes de acción [43].

### **7.3.5. Análisis comparativo de caracterización vial mediante métodos fotogramétricos y tradicionales**

En Lima Perú se elaboró un estudio, cuyo objetivo principal fue el análisis comparativo del método fotogramétrico y métodos convencionales para caracterizaciones viales, del cual los resultados más significativos radican en que los dos métodos son similares en cuanto a precisión. Sin embargo, se concluye que la metodología de fotogrametría es más eficiente con respecto a costos, tiempo, calidad de fotografías obtenidas y detalles de la información [44].

Adicionalmente, en el estudio mencionado se presenta un análisis del método fotogramétrico, a continuación, es presentado en la tabla 9.

**Tabla 8.** Análisis método fotogramétrico.

<b>Método Fotogramétrico</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Las fotografías obtenidas son de buena calidad.	Requiere de softwares.
Pueden obtenerse videos.	Requiere del intercambio de archivos.
Se pueden obtener detalles de los objetos o terrenos en estudio.	Depende de las condiciones climáticas.
Puede ser aplicado en diversos sectores.	El vuelo puede verse afectado en sectores de alta vegetación.
A través de este método se puede acceder a lugares de difícil acceso.	

### **7.3.6. Caracterización vial a través de la metodología de calicatas**

Se realizó una investigación para realizar el diseño de un pavimento asfáltico y para ello, se efectuó la caracterización vial del terreno a través de calicatas en campo, con las cuales se pretendió

determinar las propiedades y peculiaridades mecánicas del terreno, de lo cual se encontró que este compuesto por arena limosa de baja plasticidad. El autor del proyecto concluye exponiendo que para obtener mejores resultados es necesario realizar mayor trabajo de campo con calicatas para obtener más datos y mayores valores de confiabilidad y así mismo poder ejecutar el diseño del pavimento asfáltico [45].

De acuerdo a la experiencia expuesta acerca de la caracterización a través del método de calicatas se logró identificar que con esta metodología se requiere mayor trabajo de campo y mayor tiempo empleado para obtener datos confiables y detallados.

### ***7.3.7. Comparación de experiencias entre las metodologías convencionales y el uso de drones para la caracterización vial***

Según lo expuesto en los acápite anteriores, a continuación, se presenta una comparación de las diferentes experiencias entre las metodologías convencionales y el uso de drones para ser utilizados en la caracterización vial.

**Tabla 9.** Comparación de experiencias de las metodologías convencionales y el uso de drones

<b>Variable/Método</b>	<b>Metodología SIG</b>	<b>Metodología PCI</b>	<b>Metodología VIZIR</b>	<b>Metodología de calicatas</b>	<b>Metodología de fotogrametría con drones</b>
<b>Tipo</b>	Metodología innovadora.	Metodología tradicional.	Metodología tradicional.	Metodología tradicional.	Metodología innovadora.
<b>Obtención de datos</b>	Genera imágenes que representan el espacio geográfico.	Recolecta datos a través de lo observado en campo.	Recolecta datos a través de lo observado en campo.	Genera datos a través de lo recolectado y estudiado en campo.	Genera fotografías en tiempo real que representan el marco espacio temporal.
<b>Herramienta empleada</b>	Utiliza softwares.	Utiliza manuales ya establecidos.	Utiliza manuales ya establecidos.	Utiliza más mano de obra.	Utiliza softwares costosos y de gran consumo de memoria RAM.
<b>Herramienta fotográfica</b>	Utiliza cámaras fotográficas para la captura de datos.	Obtiene datos e información a través de lo observado en campo.	Obtiene datos e información a través de lo observado en campo.	Obtiene datos e información a través de lo recolectado en campo.	Utiliza drones con cámaras para la captura de datos.
<b>Requerimientos</b>	Requiere de información levantada en campo.	Requiere de información levantada en campo.	Requiere de información levantada en campo.	Requiere de información levantada en campo.	Requiere de la captura de datos a partir de un UAV, de instrumentos de georreferenciación y de toma de datos, espacios para el despegue y aterrizaje.
<b>Factibilidad</b>	Es un método más detallado, factible y viable gracias a las	Es un método más detallado que la	Es un método factible y viable, sin embargo, es	Es un método viable dependiendo de la cantidad de	Es un método detallado, factible y viable partiendo de lo que puede ser observado en las fotografías obtenidas y los datos

---

	observaciones que pueden presentarse.	metodología VIZIR.	más superficial que la metodología PCI.	calicatas y la cantidad de información recolectada.	capturados. No obstante, se presentan limitantes como los arboles que significan un obstáculo en el análisis de las fotografías, por lo cual, dependiendo de las condiciones de estos se deben efectuar ajustes en la toma de muestras.
<b>Costos</b>	Es un método más costoso que los tradicionales, pero involucra menos tiempo.	Es un método menos costoso, pero requiere mucho más tiempo.	Es un método menos costoso, pero requiere mucho más tiempo.	Es un método menos costoso, pero requiere mucho más tiempo.	Es un método más costoso que los tradicionales, ya que requiere del uso de un UAV, pero requiere de mucho menos tiempo empleado.
<b>Complejidad</b>	Mayor complejidad en la implementación de softwares.	Mayor complejidad en sus cálculos.	Más sencilla de implementar.	Requiere de mayor complejidad, ya que necesita de la determinación de datos.	Requiere de mayor complejidad, ya que utiliza drones para la captura de datos y softwares para el procesamiento de información
<b>Trabajo de campo</b>	Mayor requerimiento de trabajo de campo debido a la captura de datos a través de cámaras.	Mayor requerimiento de trabajo de campo.	Mayor requerimiento de trabajo de campo.	Mayor requerimiento de trabajo de campo.	Mayor requerimiento de trabajo de campo, sin embargo son más sencillos de implementar debido a los beneficios de la captura de información a través de drones y la utilización de diferentes herramientas.

---

#### **7.4. Factibilidad de la implementación de drones para la caracterización vial mediante fotogrametría.**

Para determinar la factibilidad de la implementación de cualquier método de fotogrametría, se debe en primera instancia conocer cuál es la participación verdadera de los interesados y planificar un nivel de participación deseado [46], así como la actividad para la cual se implementara dicha tecnología, dentro de las cuales se resalta el levantamiento de áreas o volúmenes, la estimación de recursos explotables, la generación de curvas de nivel para estudios técnicos, el procesamiento de información y la obtención de imágenes en tiempo real. Asimismo, se tendrán en cuenta las diversas etapas que se llevan a cabo en un proyecto de caracterización vial y la aplicabilidad de la herramienta para cada proceso. De igual manera, se debe tener en cuenta aspectos económicos, técnicos, el tiempo necesario para llevar a cabo las actividades, la mano de obra y los equipos.

Con base en lo anterior, se procede a establecer la factibilidad de la implementación de drones para la caracterización vial, donde las características que resultan más factibles son:

- ✓ Mediante la implementación de drones, se requiere un menor uso de personal, siendo necesario para esta labor 1 Topógrafo (Piloto acreditado de RPAS), 1 Asistente y 1 chofer; siendo esto a comparación de los métodos convencionales, un aspecto a favor, ya que, los modelos convencionales requieren de más asistentes que ayuden con la maniobrabilidad de los equipos, así como de un equipo de seguridad que salvaguarde los equipos.
- ✓ Debido a la naturaleza de los drones, la cual se caracteriza por tener total movilidad y maniobrabilidad en el espacio aéreo, la caracterización por drones es un método que requiere menos tiempo para la identificación, el reconocimiento y la obtención de

información topográfica. Por consiguiente, al ser una metodología que requiere de menos personal y tiempo de trabajo, para la caracterización de amplios tramos, resulta económico.

- ✓ En comparación a los métodos convencionales, la precisión obtenida con el método de fotogrametría por drones, no tienen una diferencia significativa [44].
- ✓ Otro aspecto es el producto final que entregan los métodos, donde mediante la implementación de drones se logra obtener mayor información para la elaboración de los planos topográficos, así como mayor detalle planimétrico y también un mejor modelado de la superficie.

Con base en lo anterior, se considera el uso de drones mediante la metodología fotogramétrica, como un método factible, económico, eficiente y eficaz, donde los beneficios más notables de la implementación de este son la reducción en los tiempos de obtención de información y la disminución en los costos de equipo y personal.

#### ***7.4.1. Descripción del método de fotogrametría a través de drones***

Para la descripción teórica del modelo fotogramétrico a través de drones, se realizó una revisión y análisis bibliográfico de estudios donde han implementado esta metodología de forma experimental.

##### **7.4.1.1. Optimización de procesos en una compañía minera**

Jorge-Berrocal [47], elaboró un proyecto cuyo objetivo principal fue la aplicación del método fotogramétrico mediante drones, para evaluar la efectividad del mismo en la optimización de procesos en una empresa minera; para ello, se llevó a cabo la siguiente metodología:

**Identificación del terreno:** Realizar el reconocimiento en campo del sitio de estudio, para identificar los puntos de toma de fotografías, relieves y definir los parámetros de vuelo. Teniendo en cuenta que el proyecto cumple con las características de aplicación en topografía, se realiza un

control terrestre en campo mediante receptores GNSS, el cual es “un equipo electrónico utilizado como interfaz de usuario a cualquier Sistema Global de Navegación por Satélite y su objetivo es procesar las señales transmitidas por los satélites” ([48], s.f.), es decir, forman parte de la instrumentación geodésica que proporciona posición, velocidad y tiempo.

**Figura 4.** Control terrestre en campo

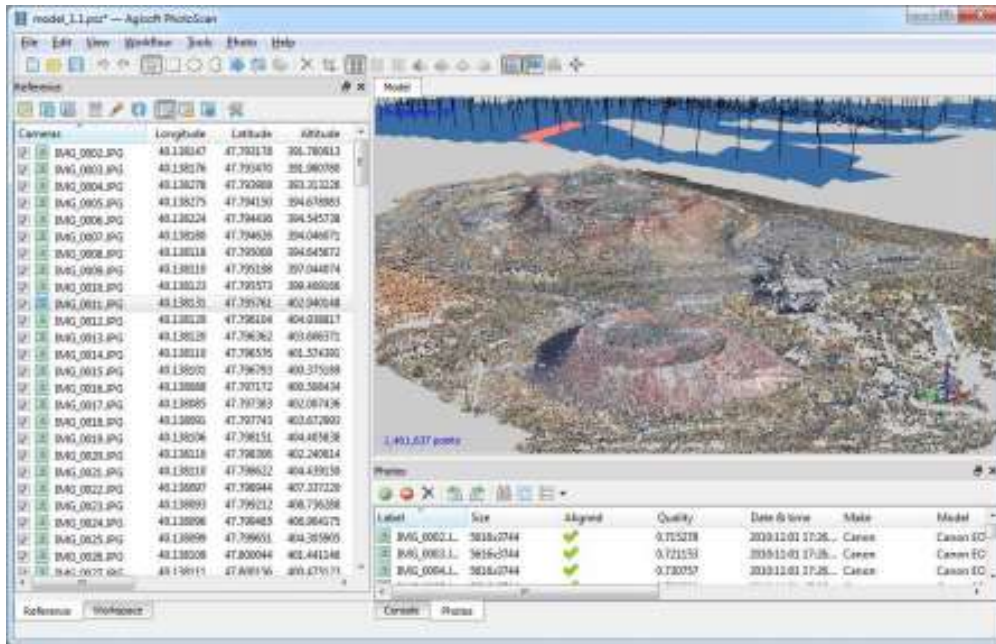


*Nota.* Tomada de *Jorge-Berrocal*, (2019).

**Plan de vuelo del drone:** Se programa el área de estudio, se asigna la altura de vuelo y la inclinación del ángulo de la cámara; no obstante, esta fase debe estar constantemente monitoreada, con el objetivo de dar cumplimiento a los estándares especificados anteriormente, es decir que se cumpla con la altura, distancias, ubicación en las líneas de vuelo y sobre todo la obtención de fotografías en los puntos requeridos.



**Figura 6.** Procesamiento de datos en el software utilizado

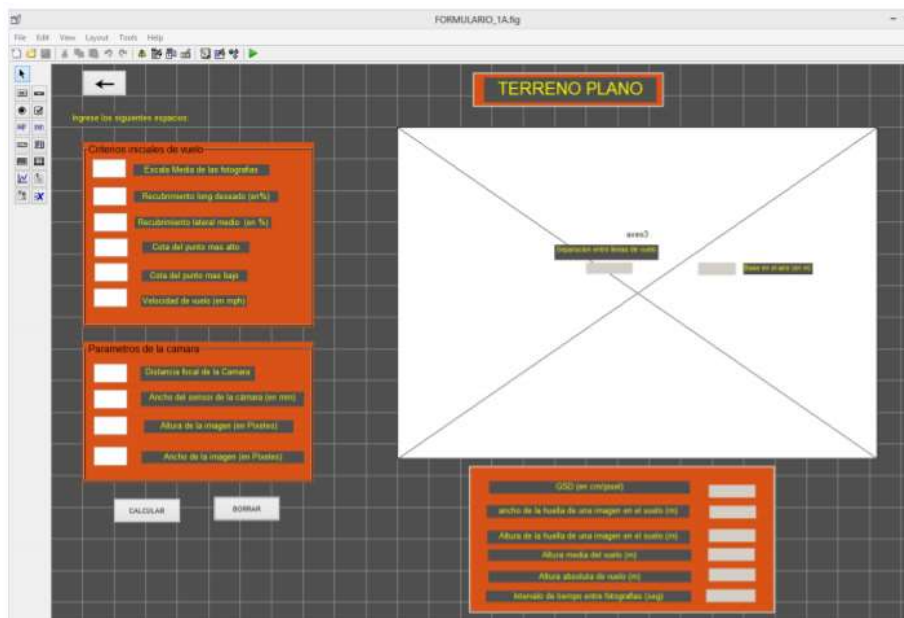


*Nota.* Tomada de *Jorge-Berrocal*, (2019).

#### 7.4.1.2. Metodología de un vuelo fotogramétrico usando UAV'S

Riaño-Rodríguez [28], elaboró en su proyecto el diseño de la metodología a tener en cuenta en la aplicación de la fotogrametría usando UAV'S. Para ello, se enfocó principalmente en elaborar el plan de vuelo en un software como “Matlab”

**Figura 7.** Plan de vuelo en Matlab



*Nota.* Tomada de: Riaño-Rodríguez, (2018).

Mediante el software se programa la ubicación, el orden de la toma de datos, la altura de vuelo y demás características que permiten obtener un modelado del área de estudio e identificar fácilmente los factores a estudiar.

Una vez obtenido el plan de vuelo, se establecen alturas máximas y mínimas, al igual que el cálculo de parámetros a tener en cuenta, los cuales son: la escala media de las fotografías, las cotas, velocidades de vuelo, distancia focal de la cámara, ancho del sensor, altura y ancho de la cámara en pixeles.

#### **7.4.1.3. Fotogrametría con drones en obras viales**

Parra-Lavado [10], realizó un proyecto de investigación experimental donde se analizaron los parámetros de la fotogrametría con drones en obras viales. Para ello, dividen la metodología en las siguientes fases:

**Planificación de vuelo:** En esta etapa se determinan diferentes características del vuelo del drone, como altura, zonas de despegue y aterrizaje y los puntos de captura de datos o información, teniendo en cuenta la determinación de coordenadas.

**Requerimientos preliminares:** Identificación de la información necesaria acerca del área o la vía en estudio, tales como: relieve, vegetación, clima y reconocimiento de la zona, lo cual permite fotografías más precisas y exactas con un reconocimiento previo del sitio de estudio; así mismo, se realiza el reconocimiento de riesgos en la zona de vuelo.

**Despegue y aterrizaje del drone:** Debe realizarse en una zona libre de cualquier tipo de objetos que puedan interferir en el despegue del drone; así mismo, es necesario verificar antes del despegue la correcta funcionalidad de aspectos como su carga, hélices, control remoto, calibración, software, cámara fotográfica y memoria de almacenamiento. Por otro lado, el aterrizaje debe realizarse en el mismo punto de su despegue y de igual forma se debe asegurar previamente que no existan objetos que puedan interferir con el aterrizaje.

**Distancia de muestreo:** La distancia óptima a utilizar para la captura de información, depende del tipo de terreno o zona de estudio.

**Calibración de fotos:** Este proceso se realiza con el objetivo de mejorar la calidad de las fotos, sin embargo, no es un proceso necesario si no se requiere.

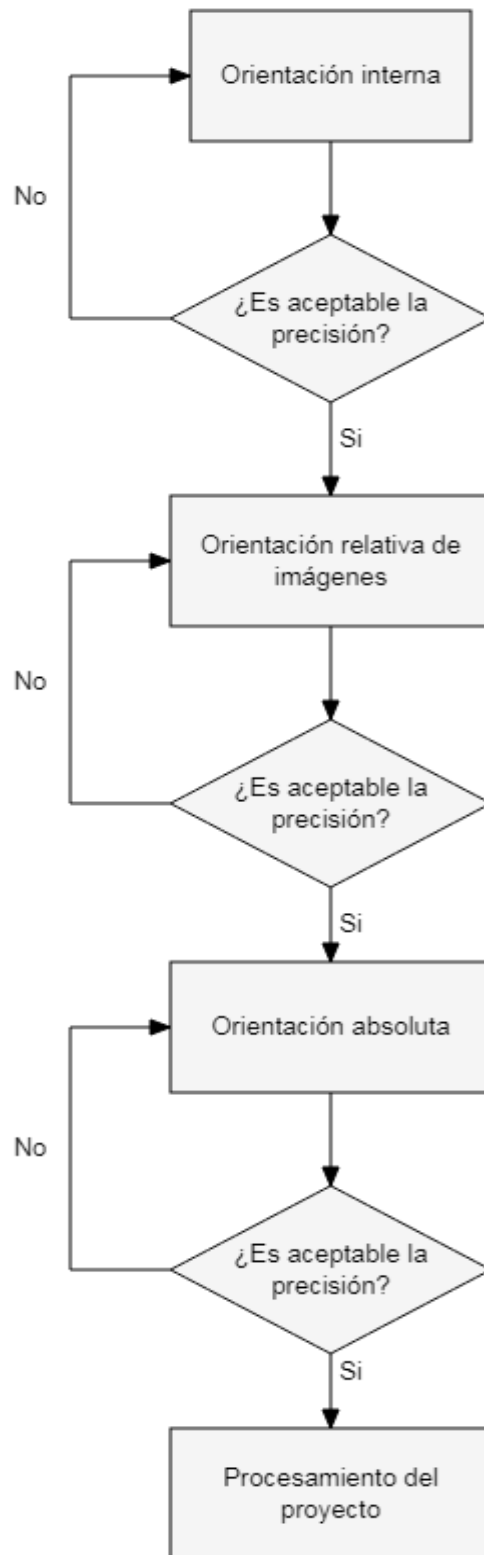
**Nube de puntos:** Este proceso se genera a partir de una imagen proyectada donde se incluyen las capturas almacenadas y cargadas previamente, donde se pueden evidenciar las fotografías en dos dimensiones, en el eje x y y.

**Generación de ortofotografía:** mediante este proceso se genera una imagen de alta calidad a través de las capturas realizadas con el drone.

Basado en lo mencionado anteriormente, la aplicación del método de fotogrametría con drones requiere más que la necesidad de tener un drone, ya que es indispensable el uso de elementos o equipos georreferenciados que permitan llevar a cabo esta labor; y así mismo se requiere de un software donde se realice la planeación de dicha actividad y donde se ejecute el análisis de los datos obtenidos. Existen diferentes tipos de software que pueden ser usados, dependiendo de la utilidad y la capacidad de manejo del personal encargado de realizar la actividad.

#### **7.4.1.4. Control del proceso fotogramétrico**

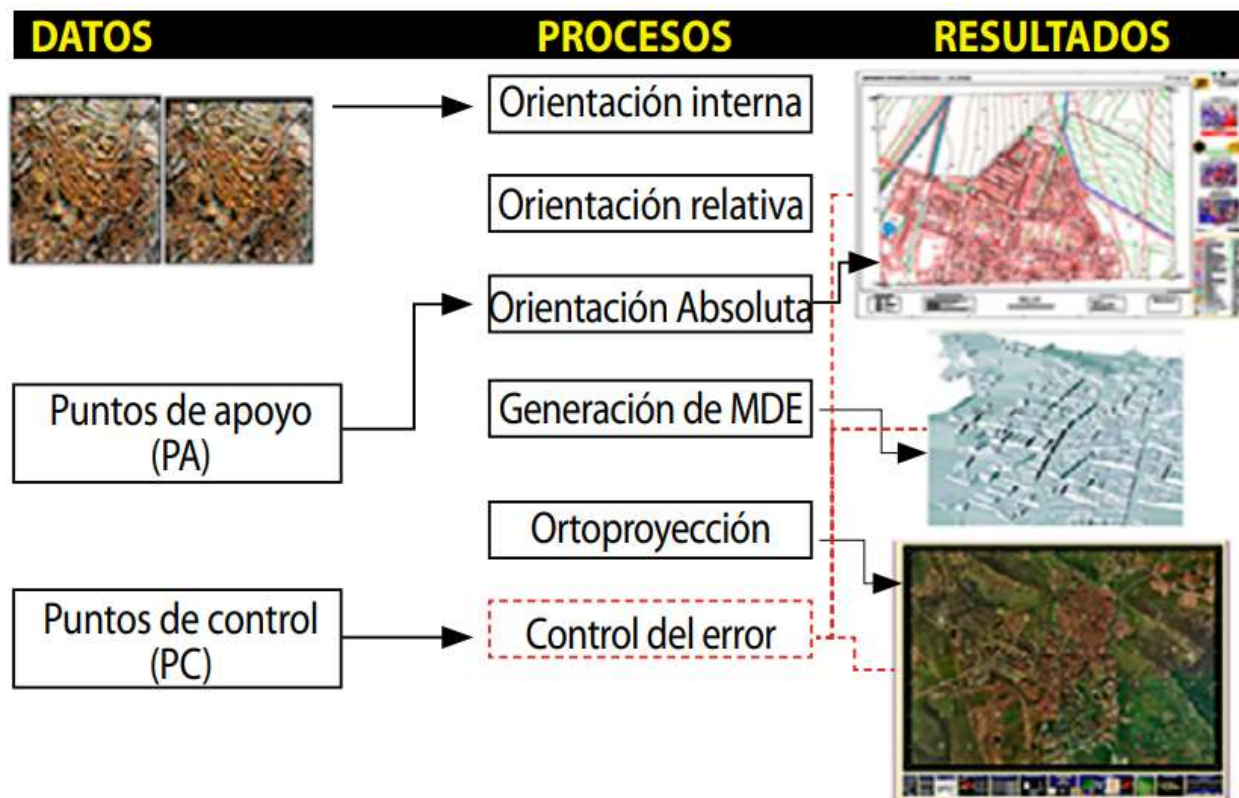
En primera instancia se lleva a cabo la orientación interna, mediante la que se determina la orientación y localización del sistema de coordenadas de la imagen con respecto al archivo digital, posteriormente, se genera un informe de análisis en el cual se determina la precisión de la imagen, si en el análisis se determina que ésta no cuenta con una precisión aceptable, se procede a realizar nuevamente la orientación interna, de lo contrario se procede a llevar a cabo la orientación relativa de las imágenes, proceso por el cual se miden los puntos de homologación, después, se lleva a cabo un análisis con el cual se determina el grado de precisión, el cual, de no ser un valor aceptado, se repite el proceso de orientación interna, de lo contrario, se procede a efectuar la orientación absoluta, la cual es la medición de los puntos de apoyo, a la cual se le debe determinar la precisión; por último, se efectúa el procesamiento del proyecto, es decir, la vectorización estéreo DEM, el ortomosaico, entre otros.

**Figura 8.** Proceso del método de fotogrametría

### 7.4.1.5. Productos fotogramétricos

Los principales productos que se obtienen por la fotogrametría son los planos vectoriales, modelos digitales del terreno y ortofotografías, resultados que se obtienen mediante los siguientes procesos:

**Figura 9.** Planos vectoriales de la fotogrametría



*Nota:* Tomada de: *Quirós-Rosado* (2014).

Los planos vectoriales se elaboran de forma manual por el operario fotogramétrico, el cual se representa mediante el principio de la marca flotante y de forma tridimensional, los elementos que procedan, según la escala del mapa o plano final. De igual manera, se lleva a cabo el trazo de las curvas de nivel de forma manual teniendo en cuenta la escala del resultado inicial.

Los modelos digitales de elevaciones son datos numéricos que describen la distribución espacial de una característica del territorio, estos se pueden realizar de diversas formas, ya sea mediante

programas virtuales o métodos convencionales, lo cual ocasiona que existan diversos tipos de modelos digitales del terreno.

En cuanto a las ortofotografías, estas se generan comúnmente a partir de los modelos digitales de elevación, las cuales generalmente presentan problemas relacionados a la representación de los elementos cuya altitud es considerable.

## 8. Conclusiones

Las metodologías tradicionales o las comúnmente utilizadas para la realización de caracterizaciones de la infraestructura vial son los métodos SIG, Calicatas, PCI y VIZIR. El método SIG se basa en la utilización de cámaras fotográficas y softwares, mientras que las metodologías PCI y VIZIR se basan en estándares, manuales y rangos ya establecidos para la determinación del deterioro de la infraestructura vial según daños asfálticos y que analizaron.

Otros métodos como el de calicatas y el de perforación, permiten conocer características propias del terreno netamente a través de arduo trabajo de campo y empleando mayor tiempo pero que. No obstante, en los últimos años, las metodologías para la caracterización vial han empezado a ser más innovadoras, lo cual ha conllevado a la implementación de la fotogrametría a través de drones o UAV para determinar características de las vías e identificar inconsistencias, con el objetivo de brindar soluciones más rápidas y eficaces.

Los drones son herramientas que cumplen con las características necesarias y adecuadas para la captura de información o datos de estructuras o terrenos que se deseen estudiar; lo cual permite obtener fotografías que llevan a la descripción e identificación del estado de las vías, para así determinar si existe algún tipo de anomalía que deba ser corregida o solucionada para garantizar el desarrollo de la infraestructura y el bienestar de la población. Así mismo, se logra determinar que el tipo de UAV adecuado para este tipo de proyectos es el dron de ala fija, ya que cumple con las condiciones y propiedades necesarias para la realización de este tipo de actividad o tarea.

La metodología de fotogrametría con el uso de drones es un método muy efectivo y eficaz con respecto a las metodologías utilizadas comúnmente, debido a que es innovadora, ahorra tiempo, logra obtener mayores detalles de información acerca de la estructura estudiada, es un método beneficioso en costos teniendo en cuenta que sus ventajas son mayores con respecto al valor que se debe invertir, ya que trabajar con vehículos aéreos no tripulados puede ser más costoso que realizar caracterizaciones visuales en campo; sin embargo, los drones permiten llegar a lugares de difícil acceso y permite realizar el trabajo en menor tiempo.

## **9. Recomendaciones**

Se recomienda para futuras investigaciones estudiar a profundidad diferentes tipos de drones de ala fija con el objetivo de determinar cuál es el indicado y efectivo para la captura de datos e información, para la realización de caracterizaciones de la infraestructura vial.

Se recomienda poner en práctica los resultados más relevantes obtenidos en este estudio, es decir, aplicar la metodología de fotogrametría utilizando drones de ala fija, para realizar caracterizaciones de la infraestructura vial y así obtener resultados relevantes desde experiencias propias.

Si bien las metodologías tradicionales han brindado buenos resultados, se recomienda empezar a optar por métodos innovadores como la metodología de fotogrametría, la cual trae consigo mayores beneficios de tiempo, inversión y resultados.

## Referencias

- [1] D. R. Cárdenas-Lemus, O. F. Holguin- Rojas, y S. J. Zabala-Muñoz, «Auscultación visual realizada mediante el dron DJI PHANTOM 4 PRO, con implementación de metodologías VIZIR y PCI para pavimentos flexibles en la carrera 69B sur entre la avenida primera de Mayo Y CALLE 9 A sur- Barrio Villa Claudia-Ciudad Bogotá», Tesis de Pregrado, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, D.C, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6515/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] MInisterio de Transporte, «Caracterización del Transporte en Colombia Diagnostico y Proyectos de Transporte e Infraestructura». 2005. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/johnrehobot/caracterizacion-transporte-colombia>
- [3] J. A. Hernández-Rueda y J. A. Leon -Infante, «Caracterización del estado de la infraestructura vial y transporte como una de las determinantes en la elaboración de avalúos comerciales», Tesis de Pregrado, Universidad La Gran Colombia, Bogotá, D.C, 2016. [En línea]. Disponible en: [https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5293/Caracterizaci%c3%b3n\\_estado\\_infraestructuravial\\_%20aval%c3%baoscomerciales.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5293/Caracterizaci%c3%b3n_estado_infraestructuravial_%20aval%c3%baoscomerciales.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [4] M. A. Acosta-Ariza y P. A. Alarcón-Romero, «Análisis de la cantidad y el estado de las vías terciarias en Colombia y la oportunidad de la ingeniería civil para su construcción y mantenimiento», Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, D.C, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15205/1/AN%C3%81LISIS%20CANT%20Y%20EST%20V3%20COLOMBIA%20OOPORT%20ING%2010%2011%202017.pdf>
- [5] J. Acevedo-Suárez y S. M. Quintero- Herrera, «Caracterización vial de la avenida Román Roselly del municipio de Aguazul Casanare a través de la implementación del SIG para establecer el inventario vial urbano geo-referenciado», Tesis de Pregrado, Bogota D.C, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/35967/Quintero%20Herrera%20Sandra%20Milena%202019.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [6] USAID, «Guía práctica para elaboración de inventarios de vías terciarias». 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.apccolombia.gov.co/sites/default/files/usaaid-guia-practica-inventarios-viales.pdf>
- [7] Ministra de Transporte, «Resolución 412 de 2020, por la cual se adopta la Metodología General para reportar la información que conforma el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras - SINC y se dictan otras disposiciones, febrero 26 de 2020», 2020. <https://www.mintransporte.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=23352>
- [8] J. A. Galvis-Florez, «Estudio de caracterización vial». 2021. [En línea]. Disponible en: [https://tesproyect.slack.com/files/U01P99EK95M/F020QUAM91V/estudio\\_caracterizaci\\_n.pdf](https://tesproyect.slack.com/files/U01P99EK95M/F020QUAM91V/estudio_caracterizaci_n.pdf)
- [9] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, «¿Qué es la fotogrametría?», *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*, 2018. <https://www.igac.gov.co/es/contenido/que-es-la-fotogrametria> (accedido abr. 11, 2021).
- [10] R. R. Parra-Lavado, «MODELO ANALÍTICO DE LOS PARÁMETROS PARA LA FOTOGRAMETRÍA CON DRONES EN OBRAS VIALES», proyecto de grado,

- Universidad Peruana los Andes, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/1121>
- [11] D. P. Rodríguez- Castillo, «Caracterización del proyecto “autopista al Mar2- 4g” empleando LiDar, imágenes digitales y estudios batimétricos», 2017, Accedido: abr. 11, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.udistrital.edu.co/handle/11349/5429>
- [12] E. Díaz-Baeza, «Estudio preliminar sobre el uso de dron durante el proceso de pavimentación en caminos de asfalto», Tesis de Pregrado, Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles, Los Ángeles, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/3359/4/D%C3%ADaz%20Baeza%2C%20E%20steban.pdf>
- [13] R. Vasconcelos-Fernandez, A. Fonseca- Cabral, G. Batista- Dantas, V. Varela-Tinoco, B. Azevedo da Silveira, y A. Sousa-Junior, «Mapeo de manifestaciones patológicas en pavimento asfáltico por medio del uso de drones», vol. 11, n.º 1, pp. 61-72, 2021.
- [14] E. M. Pinzon-Monroy, «PROCESAMIENTO DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS EN SECTORES RURALES POR MEDIO DE DRONE», Proyecto de Pregrado, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogota D.C, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22738/PROCESAMIENTO%20DE%20LEVANTAMIENTOS%20TOPOGR%20C1FICOS%20EN%20SECTORES%20RURALES%20POR%20MEDIO%20DE%20DRONE.pdf;jsessionid=C9C7EFA22D4FC2B0CEFE2FDEB4A91878?sequence=1>
- [15] R. A. Neira-Ricouz, «FOTOGRAMETRIA AEREA», Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile, 2005. [En línea]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcin415f/doc/bmfcin415f.pdf>
- [16] R. A. CLAROS-ZELAYA, A. E. GUEVARA-AGUILAR, y N. R. PACAS-CRUZ, «APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA AÉREA EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS», Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, san miguel- el salvador, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14218/1/50108282.pdf>
- [17] A. Guzman, L.-F. Cubillos-Guzman, M. A. Trujillo Dávila, D. Guzmán Vásquez, y T. Romero Cifuentes, *Contabilidad financiera*. 2006. Accedido: mar. 02, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.urosario.edu.co/>
- [18] S. LORDUY-HERNÁNDEZ, «GENERACIÓN DE ORTOIMÁGENES USANDO VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS APLICADO A LA AGRICULTURA», Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD EAFIT, MEDELLIN, 2017. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12376/Sara\\_LorduyHern%20c3%a1nde%20z\\_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12376/Sara_LorduyHern%20c3%a1nde%20z_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- [19] Congreso de Colombia, «Ley 1228 de 2008, por la cual se determinan las fajas mínimas de retiro obligatorio o áreas de exclusión, para las carreteras del sistema vial nacional, se crea el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras y se dictan otras disposiciones. 16 de junio de 2008.», 2008. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=31436> (accedido abr. 28, 2021).
- [20] O. Castellero-Mimenza, «Los 15 tipos de investigación (y características)», *Psicología y Mente*, s.f. <https://psicologiaymente.com/miscelanea/tipos-de-investigacion> (accedido abr. 13, 2021).

- [21] L. Tello-Cifuentes, M. Aguirre-Sánchez, J. P. Díaz-Paz, y F. Hernández, «Evaluación de daños en pavimento flexible usando fotogrametría terrestre y redes neuronales», *TecnoLógicas*, vol. 24, n.º 50, Art. n.º 50, ene. 2021, doi: 10.22430/22565337.1686.
- [22] L. H. Ponce Bello y L. Humberto, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS ENTRE LOS MÉTODOS VIZIR Y PCI APLICADOS A UN TRAMO DE 1.6 KM VÍA JIPIJAPA- CHADE», 2018, Accedido: jun. 17, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1221>
- [23] J. D. García-Murcia y M. E. López-Castañeda, «Implementación de un SIG para caracterizar obras de drenaje que hacen parte de la infraestructura vial terciaria del sector oriental del municipio de Sylvania», Tecnología, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/548/Implementaci%C3%B3n%20de%20un%20SIG%20para%20caracterizar%20obras%20de%20drenaje%20que%20hacen%20parte%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [24] J. C. Arias Becerra y C. E. D. Durango Vanegas, «Propuesta de un método para desarrollar Sistemas de Información Geográfica a partir de la metodología de desarrollo ágil - SCRUM.», *Cuad. Act.*, vol. 10, pp. 29-41, 2018.
- [25] R. Gonzales, C. Soengas, y G. Botasso, «Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos», 2005, Accedido: jun. 27, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/31065998/\\_Mantenimiento\\_y\\_Rehabilitaci%C3%B3n\\_de\\_Pavimentos](https://www.academia.edu/31065998/_Mantenimiento_y_Rehabilitaci%C3%B3n_de_Pavimentos)
- [26] Johanna Astrid Buitrago Velandia y D. P. Cano Osorio, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOLOGÍAS DE AUSCULTACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES», especialización, universidad militar nueva granada, Bogotá, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/3655/BuitragoVelandiaJohanaAstrid2011.pdf?sequence=2>
- [27] F. D. Sedano Mateo y R. W. Pari Rendon, «Ventajas en los levantamientos topográficos con el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV)», *Univ. Priv. Norte*, sep. 2019, Accedido: ago. 02, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21067>
- [28] Riaño- Rodríguez, «Metodología para el diseño de un vuelo fotogramétrico usando UAV'S», Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogotá, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13097/Ria%F1oRodr%EDguezEdgarRoberto2018.pdf;jsessionid=A47DE123CEC7DD0060C9FCC26AF2DD9C?sequence=1>
- [29] M. Balaguer- Piug, «Fotogrametría de objeto cercano. Conceptos básicos». s.f. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/82148/Balaguer%20%20Fotogrametr%C3%ada%20de%20Objeto%20Cercano%3a%20Conceptos%20b%C3%a1sicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [30] S. Arriola-Valverde, A. Ferencz-Appel, y R. Rimolo-Donadio, «Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados», 2018. [En línea]. Disponible en: [https://181.193.125.13/index.php/investiga\\_tec/article/download/3475/3144](https://181.193.125.13/index.php/investiga_tec/article/download/3475/3144)
- [31] E. Quirós-Rosado, «Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil». 2014. [En línea]. Disponible en: [https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es.mascvuex.ebooks/files/files/file/Fotogrametría\\_9788469713174\\_0.pdf](https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es.mascvuex.ebooks/files/files/file/Fotogrametría_9788469713174_0.pdf)

- [32] AERO ROTORES, «Que son los UAV o Drones», *RentaDeDrone.com*, 2018. <https://www.rentad drone.com/post/que-son-los-uav-o-drones> (accedido jun. 08, 2021).
- [33] F. Qi, W. Li, P. Yu, L. Feng, y F. Zhou, «Deep learning-based BackCom multiple beamforming for 6G UAV IoT networks», *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2021, n.º 1, 2021, doi: 10.1186/s13638-021-01932-4.
- [34] G. Addati y G. Pérez-Lance, «Introducción a los UAV's Drones o VANTs de uso civil». 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/130802/1/799216895.pdf>
- [35] A. Coello-Romero y G. Ballesteros- Abellán, «Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con topografía clásica», Tesis de Pregrado, Universidad Politecnica de Madrid. [En línea]. Disponible en: [http://oa.upm.es/34699/1/PFC\\_ALBA\\_COELLO\\_ROMERO.pdf](http://oa.upm.es/34699/1/PFC_ALBA_COELLO_ROMERO.pdf)
- [36] P. Ruipérez-Martín, «Diseño y fabricación de un dron», Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de València, s.f. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73170/RUIP%C3%89REZ%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20fabricaci%C3%B3n%20de%20un%20dron%20mediante%20impresi%C3%B3n%203D.pdf?sequence=5>
- [37] China Electronics Technology Group Corporation, «Nuevo récord: 119 drones de ala fija volando simultáneamente». <https://www.todrone.com/nuevo-record-119-drones-de-ala-fija-volando-simultaneamente/> (accedido ago. 10, 2021).
- [38] Balaguer-Zafra, «Análisis y estudio de mejora de un UAV de ala fija VTOL», Tesis de Pregrado, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/131218/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [39] C. A. Tello-Vargas y E. G. Herrera-Victorio, «Diseño e implementación de un dron de ala fija para el estudio de índices de vegetación para la agricultura de precisión en el fundo altamirano-ICA», Tesis de Pregrado, 2019. [En línea]. Disponible en: [http://168.121.49.87/bitstream/handle/URP/2747/aMEC-T030\\_74862109\\_T%20%20HERRERA%20VICTORIO%20EDUARDO%20GUILLE RMO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://168.121.49.87/bitstream/handle/URP/2747/aMEC-T030_74862109_T%20%20HERRERA%20VICTORIO%20EDUARDO%20GUILLE RMO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [40] L. E. Moncada-Arias, J. V. García-Pineda, y H. Y. Suarez-Herrera, «Sistemas de aeronaves pilotadas a distancia para determinar ilícitos ambientales». 2017. [En línea]. Disponible en: <http://criminalistica.mp.gob.ve/wp-content/uploads/2018/06/Sistemas-de-Aeronaves-Pilotadas-a-distancia-para-determinar-il%C3%ADcitos-ambientales.pdf>
- [41] D. I. Toledo-Paredes y E. A. Llaiqui -Chambi, «Evaluación superficial del pavimento flexible aplicando el método PCI y propuesta de mejoramiento de la infraestructura vial en la av. Industrial, en el tramo de la av. Gustavo Pinto y av. Jorge Basadre Grohmann – Tacna, 2019», *Univ. Priv. Tacna*, 2020, Accedido: jun. 23, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://localhost:8080/xmlui/handle/UPT/1635>
- [42] A. F. Amaya Camargo y E. E. Rojas Guavita, «Análisis comparativo entre metodologías vizir y pci para la auscultación visual de pavimentos flexibles en la ciudad de Bogotá», 2017, Accedido: jun. 24, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/4566>
- [43] R. S. Gómez-Zurdo, D. G. Martín, B. González-Rodrigo, M. M. Sacristán, y R. M. Marín, «Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno», *Inf. Constr.*, vol. 73, n.º 561, Art. n.º 561, abr. 2021, doi: 10.3989/ic.77867.

- [44] R. Mallma Palacios, «Análisis comparativo del método fotogramétrico y convencional para el levantamiento topográfico de la Av. Ferrocarril – Pachacamac», *Repos. Inst. - UCV*, 2020, Accedido: jun. 26, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56130>
- [45] D. Villegas-Silva, «Diseño del pavimento asfáltico utilizando geomallas de fibra de vidrio en Urbanización el Ingeniero I, Chiclayo», *Repos. Inst. - UCV*, 2019, Accedido: jun. 27, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/37020>
- [46] O. J. Toro Vallejo y G. J. Rojas Arias, «Diseño e implementación de un servicio de levantamientos topográficos por medio de drones», *InstnameUniversidad Piloto Colomb.*, nov. 2018, Accedido: jun. 24, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4603>
- [47] R. R. Jorge-Berrocal, «“Optimización en el proceso de cartografía con tecnología drones en la compañía minera Barrick Misquichilca S.A.”», *Univ. Nac. San Cristóbal Huamanga*, 2019, Accedido: ago. 01, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3608>
- [48] INSITEL, «RECEPTORES GNSS – INSITEL», *INSITEL*, s.f. <https://insitel.pe/instrumentacion-geodesica/receptores-gnss/> (accedido ago. 01, 2021).