

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE LEVANTAMIENTO DE TIPOS DE FALLAS
ASISTIDO POR EL SISTEMA DE AERONAVES PILOTADAS
REMOTAMENTE (RPAS) PARA INTERVENIR EN CARRETERAS
DE BAJO VOLUMEN EN LIMA PROVINCIAS**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:
Bach. PEÑA CARBAJAL, EDU BRAYAN
Bach. PEÑA CARBAJAL, LIZBETH CAROLINA

Asesor: Mg. Ing. AREVALO LAY, VICTOR ELEUTERIO

LIMA – PERÚ

2020

DEDICATORIA

De todo corazón, mi tesis va dedicado a mis padres, Eduardo y Lilia, mis dos grandes tesoros, gracias a ustedes soy la persona que siempre anhelé, gracias por enseñarme el valor de las cosas, por enseñarme a levantarme en todos los momentos difíciles que tuvimos. Los amo.

Edu Brayan Peña Carbajal

Esta tesis está dedicada a mis padres Lilia y Eduardo por ser pilares en mi vida, gracias por su constancia y dedicación para lograr ser un buen profesional, a mi hermano Edu por su apoyo, a mi esposo Renzo por su amor incondicional, comprensión y a mi hija Liah por ser mi mayor motivación para seguir adelante.

Lizbeth Carolina Peña Carbajal

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestro asesor Mg. Ing. Víctor Arévalo Lay, usted nos ha guiado en la realización de nuestra investigación, gracias a su apoyo y motivación se pudo lograr el objetivo. A los docentes de la Facultad de Ingeniería civil, por brindarnos los conocimientos para nuestra formación profesional.

Edu Peña - Lizbeth Peña

INDICE GENERAL

RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos	4
1.1.1. Problema General.....	8
1.1.2. Problemas Específicos	8
1.2. Objetivo General y Específico	8
1.2.1. Objetivo General.....	8
1.2.2. Objetivos Específicos.....	8
1.3. Delimitación de la investigación: Temporal, Espacial y temática	8
1.3.1. Delimitación Temporal	8
1.3.2. Delimitación Espacial	9
1.3.3. Delimitación Temática.....	9
1.4. Justificación e importancia.....	9
1.4.1. Importancia	9
1.4.2. Justificación teórica	9
1.4.3. Justificación metodológica.....	10
1.4.4. Justificación práctica.....	10
1.4.5 Justificación social	10
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes del estudio de la investigación.....	11
2.1.1. Investigaciones Internacionales	28
2.1.2. Investigaciones nacionales.....	31
2.2. Bases teóricas vinculadas a las variables de estudio.....	33

2.2.1. Drones	33
2.2.1.1. Clasificación de los drones	35
2.2.1.2. Los componentes del dron:.....	37
2.2.2. Sensores	42
2.2.3. Hardware y software	47
2.2.3.1. Hardware.....	47
2.2.3.2. Servidores virtuales	47
2.2.3.3. Medios de Almacenamiento.....	47
2.2.3.4. Tarjeta gráfica	48
2.2.3.5. Software	49
2.2.4. Fotogrametría.....	64
2.2.5. Métodos de recopilación de datos de inventario de carreteras existentes.....	66
2.3. Definición de términos básicos	68
3. CAPITULO III: SISTEMA DE HIPOTESIS	71
3.1. Hipótesis.....	71
3.1.1. Hipótesis específicas	71
3.2. Variables	71
3.2.1. Definición conceptual de las variables	71
3.2.2. Operacionalización de las variables.....	73
4. CAPITULO IV: Metodología de la investigacion.....	75
4.1. Tipo y nivel	75
4.2. Diseño de investigación	75
4.3. Población y muestra.....	75
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección.....	76
4.4.1. Tipos de técnica e instrumento	76
4.4.2. Procedimientos para la recolección de datos	76

4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	76
5. CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE.....	77
LA INVESTIGACIÓN.....	77
5.1. Diagnóstico y situación actual	77
5.1.1. Drones	82
5.1.2. Sensores	86
5.1.3 Hardware y Software	87
5.1.3.1. Hardware.....	87
5.1.3.2. Software	88
5.1.3.3. Plan de vuelo	92
5.2. Criterios de selección del sistema de aeronaves pilotadas remotamente	95
5.2.1. Sistema de aeronaves pilotadas remotamente.....	95
5.2.2. Tipo de sensor	97
5.2.3. Tipo de hardware y software.....	102
5.2.3.1. Hardware.....	102
5.2.3.2. Software	104
5.2.4. Plan de vuelo.....	105
5.3. Presentación de resultados	107
5.4. Análisis de resultados.....	113
5.5. Contrastación de hipótesis	116
5.5.1. Hipótesis específicas.....	116
5.5.1.1. Hipótesis Especifica 1	116
5.5.1.2. Hipótesis específica 2.....	118
5.5.1.3. Hipótesis específica 3.....	118
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	122

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	123
ANEXOS	130
Anexo 1: Matriz de Consistencia	130
Anexo 2: Panel fotográfico del Plan Vial Huaral	131
Anexo 3: Informe del Software Agisoft Metashape	137

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Tipo de falla por el método PCI.....	18
Tabla N° 2: Deterioros del tipo A.....	19
Tabla N° 3: Deterioros del tipo B	21
Tabla N° 4: Fallas de las carreteras no pavimentadas	24
Tabla N° 5: Muestras de los deterioros de fallas en carreteras no pavimentadas	25
Tabla N° 6: Métodos de recopilación de datos de inventario de carreteras existentes	66
Tabla N° 7: Variable dependiente.....	73
Tabla N° 8: Variable independiente.....	74
Tabla N° 9: Descripción de los tipos de drones en el mercado peruano	84
Tabla N° 10: Comparativa de drones entre Inspire 2 y Mavic 2	95
Tabla N° 11: Comparativa de drones entre en Phantom 4 Pro y el Mavic 2 Pro	96
Tabla N° 12: Comparativa de sensores entre el drone Phantom 4 Pro y Mavic 2 Pro	100
Tabla N° 13: Tipos de hardware y sus características	102

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Misiles modelo Ferebee	12
Figura N° 2: Modelo Arpon III.....	14
Figura N° 3: Autógrafo Wild A7 con mesa de dibujo y registrador de coordenadas	15
Figura N° 4: Restituidor analítico Kern DSR 15	16
Figura N° 5: Cartografía básica para catastro	16
Figura N° 6: Deterioros del tipo A.....	20
Figura N° 7: Deterioros del tipo B.....	22
Figura N° 8: Deterioro del tipo B	23
Figura N° 9: Infraestructura vial existente, según departamento, 2019.....	27
Figura N° 10: Aplicaciones de los drones	35
Figura N° 11: Clasificación de tipo de drones por su arquitectura	36
Figura N° 12: Drone multirotor de 4 rotores	38
Figura N° 13: Motores, hélices	38
Figura N° 14: GPS	39
Figura N° 15: Batería y cargadores.....	40
Figura N° 16: Control remoto.....	41
Figura N° 17: Estabilizador y cámara.....	41
Figura N° 18: Espectro Electromagnético	42
Figura N° 19: Fotografía que muestra el espectro visible	43
Figura N° 20: Fotografía que muestra el espectro cercano infrarrojo	44
Figura N° 21: Fotografía que muestra el espectro infrarrojo.....	44
Figura N° 22: Enfoque de la cámara vs. Distancia focal	45
Figura N° 23: Tamaño de sensor, numero de fotos y capacidades de tarjetas de memoria. .	46
Figura N° 24: Pantalla del software DJI Pilot	49
Figura N° 25: Pantalla del software SkyCatch Commander.	50
Figura N° 26: Pantalla del software DJI Go.	51
Figura N° 27: Pantalla del software DJI Groud Station Pro	52
Figura N° 28: Pantalla del software Pix4D Capture	53
Figura N° 29: Pantalla del software Litchi	54

Figura N° 30: Pantalla del software Mission Planner.....	55
Figura N° 31:Modelo de elevación.....	56
Figura N° 32: Diferencia entre la proporción de pixel	56
Figura N° 33: Diferencia entre la separación de los postes a 5m y 1m	57
Figura N° 34: Modelos digitales de superficie	57
Figura N° 35: Modelos digitales del terreno.....	58
Figura N° 36: Curvas de nivel	59
Figura N° 37: Nube de puntos del relieve.....	59
Figura N° 38: Pantalla del software Pix 4D mapper.....	61
Figura N° 39: Pantalla del software DroneDeploy	62
Figura N° 40: Pantalla del software UGCS	63
Figura N° 41: Pantalla del Agisoft Metashape	64
Figura N° 42: Programación de actividades del trabajo	78
Figura N° 43: Detalles de la superficie de la carretera	81
Figura N° 44: Procedimiento para la obtención de la fotografía	86
Figura N° 45: Pantalla del software Pix4D Capture	89
Figura N° 46: Pantalla del software DJI Terra	90
Figura N° 47: Pantalla del software DroneDeploy	91
Figura N° 48: Detalle de las aplicaciones del mercado peruano	92
Figura N° 49: Plan de vuelo para la generación de ortomapas	93
Figura N° 50: Planificación de vuelo de canteras y áreas restringidas	94
Figura N° 51: Planificación de vuelo para edificaciones y otros.....	94
Figura N° 52: Drone Mavic 2 Pro y Phantom 4 Pro.....	96
Figura N° 53: prueba de calidad de imagen y nitidez del sensor del Mavic 2 PRO.....	97
Figura N° 54: prueba de calidad de imagen y nitidez del sensor del Mavic 2 PRO.....	97
Figura N° 55: prueba de calidad de imagen y nitidez del sensor del Phantom 4 PRO.....	98
Figura N° 56: Comparación de calidad de imagen y nitidez	98
Figura N° 57: Comparación de FPS entre el drone Phantom 4 PRO y el Mavic 2 PRO	99
Figura N° 58: Resolución esperada para la obtención del tamaño del pixel	101
Figura N° 59: Tarjeta de memoria RAM de 64 GB.....	103
Figura N° 60:Tamaño de sensor, numero de fotos y capacidades de tarjetas de memoria.	103

Figura N° 61: Pantalla del software DJI Terra	104
Figura N° 62: Pantalla del software Agisoft Metashape	105
Figura N° 63: Ilustración del modelo de dron Phantom 4 Pro.....	107
Figura N° 64: Ubicación de la carretera hacia el Mirador del Cañón de Huancas Sonche	108
Figura N° 65: Tramo de la carretera hacia el mirador del Cañón de Huancas Sonche	108
Figura N° 66: Ubicación de las fallas obtenidas por la cámara del dron	109
Figura N° 67: Ubicación de las fallas obtenidas por la cámara del dron	110
Figura N° 68: Ubicación de las fallas obtenidas por la cámara del dron	110
Figura N° 69: Ubicación de las fallas obtenidas por la cámara del dron	111
Figura N° 70: Ortofoto del tramo de la carretera hacia el Mirador de Huancas Sonche	112
Figura N° 71: Huecos en la ortofoto generado por el traslape.....	114
Figura N° 72: Posiciones de la cámara del dron Phantom 4 Pro	115
Figura N° 73: Foto grupal en la carretera LM-67	117
Figura N° 74: Medición de la falla	119
Figura N° 75: Llenado de formatos método URCI.....	120

RESUMEN

La presente investigación propuso el empleo de Sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) como metodología alterna para determinar el índice de condición en carreteras de bajo volumen.

El objetivo de la tesis fue encontrar el modelo drone, sensor, hardware y software que conformaran el RPAs para cumplir con los requerimientos de la inspección de carretera de bajo volumen enfocándonos en las fallas encontradas en ellas.

Sustentamos el desarrollo de la intervención a nivel porcentual que tuvo el RPAs en los tiempos del método tradicional. Para ello se consultó con manuales de inspección de carreteras nacionales.

El desarrollo de los criterios de selección, se realizó en base a costos y rendimiento, teniendo en cuenta los modelos más utilizados en el mercado. Con esta información se evaluó un tramo de 1 kilometro (km) de carretera en la región Selva del Perú.

El procesamiento en gabinete mostró modelos en donde se puedan analizar y determinar los tipos de fallas y la severidad de ellas.

Los resultados que se obtuvieron con el método RPAs mostró complejidad debido a factores externos.

El método tradicional fue realizado en base a un trabajo desarrollado durante el curso de caminos rurales en la provincia de Huaral y se comparó los resultados con el vuelo del RPAs utilizando principalmente la variable de tiempo.

Finalmente se concluyó en la determinación del drone (Phantom 4 Pro), sensor (CMOS RGB), hardware (Lenovo) y software (Agisoft Metashape) en consecuencia se recomendó su empleo en las próximas investigaciones experimentales en la provincia de Huaral.

Palabras clave: RPAs, carretera de bajo volumen, inventario vial, fotogrametría

ABSTRACT

The present investigation proposed the use of Remote Pilot Aircraft Systems (RPAs) as an alternative methodology to determine the condition index in low volume roads.

The objective of the thesis was to find the drone model, sensor, hardware and software that would make up the RPAs to meet the requirements of low volume road inspection by focusing on the failures found in them.

We supported the development of the intervention at a percentage level that the RPAs had in the times of the traditional method. For this purpose, we consulted with national road inspection manuals.

The development of the selection criteria was made based on costs and performance, taking into account the most used models in the market. With this information, a 1 kilometer (km) stretch of road in the Peruvian jungle region was evaluated.

The cabinet processing showed models where the types of failures and their severity can be analyzed and determined.

The results obtained with the RPAs method showed complexity due to external factors.

The traditional method was carried out based on a work developed during the course of rural roads in the province of Huaral and the results were compared with the flight of the RPAs using mainly the time variable.

Finally, it was concluded in the determination of the drone (Phantom 4 Pro), sensor (CMOS RGB), hardware (Lenovo) and software (Agisoft Metashape) consequently it was recommended its use in the next experimental investigations in the province of Huaral.

Keywords: RPAs, low volume road, road inventory, photogrammetry

INTRODUCCIÓN

En el Perú, los actuales métodos de inventario vial para la planificación en detección de calidad de la carretera requieren de brigadas, son lentos y costosos además no se contempla un mantenimiento vial idóneo, como consecuencia el abandono de la carretera y su posterior intransitabilidad provocando necesariamente realizar un mantenimiento con un costo elevado debido a su estado de condición.

Debido a las actividades que demandan los métodos tradicionales como la medición del terrero y el alto costo, no es práctico para las autoridades locales de gestión de carreteras, por lo tanto, las agencias de gestión de transporte realizan una inspección simple. La mayoría de gobiernos locales carecen de información para realizar un plan operativo anual, y no cuentan con información sobre el estado de condición de las vías que administran.

Para entender la realidad actual explicamos cómo se ejecutan los expedientes técnicos de las carreteras de bajo volumen en pueblos rurales, los gobiernos locales inician tardíamente el proceso de elaboración de un proyecto debido a situaciones adversas a la actividad.

Por ello cuanto antes se detecten las fallas en la superficie de las carreteras se puede realizar un mantenimiento de vía y evitar una reparación donde los costos aumentan.

El dron está siendo usado con fines de levantamiento fotogramétrico en cartografía, por otro lado, el uso en levantamiento de vías es escaso ya que se utiliza en su mayoría el método tradicional.

Por lo tanto, la propuesta de esta investigación es identificar el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) para realizar el levantamiento de fallas en carreteras de bajo volumen en Lima Provincias.

La presente investigación se ha estructurado en 5 capítulos, que se mencionan a continuación: En el capítulo I aborda el planteamiento del problema, donde mostramos la formulación del problema general y específicos y los objetivos. A su vez se describe la delimitación del problema, la justificación y finalmente la importancia de la investigación

Problema general: ¿En qué medida se aplicaría el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen?

Objetivo General: Determinar el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs), el tipo de drone, el tipo de sensor, el hardware y software para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen.

En el capítulo II se presenta el desarrollo del marco teórico, los antecedentes de las investigaciones internacionales y nacionales relacionadas al tema de nuestra tesis.

En el capítulo III se plantea la hipótesis, así también la descripción conceptual de cada variable de la presente investigación.

Hipótesis principal: Aplicando el drone Phantom 4 Pro, sensor CMOS, hardware Lenovo y software Agisoft Metashape como sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs), reduce en un 70% el tiempo de levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen.

En el capítulo IV se plantea el método de la investigación descriptiva donde da a conocer el tipo, donde concluimos que la investigación tiene enfoque mixto y el diseño de la investigación realizada es correlacional descriptivo. Se identifica la población de estudio y la muestra de Lima Provincias. Finalmente se muestra las técnicas e instrumentos de recolección de datos donde empleamos la técnica documental debido a que la información se obtuvo de fuentes secundarias.

En el capítulo V se presentan los resultados del sobrevuelo del drone Phantom 4 Pro a la carretera hacia el mirador de Huancas-Sonche donde la cámara con sensor integrado CMOS tomó fotografías de la vía para posteriormente ser analizadas en gabinete mediante un hardware Lenovo Legion Y7000 y software Agisoft Metashape; posteriormente analizamos los resultados en el que exponemos que la zona presentaba densidad de árboles, sin embargo, el drone no intervino en los resultados de fotografía y tiempo a pesar de volar a mayor altura por los obstáculos presentados, puesto que sigue un plan de vuelo con parámetros establecidos, el sensor si interviene puesto que al volar el drone a mayor altura la resolución de las fotografías baja, por último el procesamiento con el hardware y software intervienen con respecto a la resolución y se dificultara el reconocimiento de fallas; en la contrastación de la hipótesis mostramos la comparación del sistema de aeronaves pilotadas remotamente con el método tradicional en 1 km de la carretera LM-674 en la provincia de Huaral durante el curso de caminos rurales de la Universidad Ricardo Palma .

Finalmente se realiza las conclusiones, recomendaciones y los anexos donde se muestra la matriz de consistencia, el informe del software Agisoft Metashape y el informe del curso de caminos rurales y las cotizaciones de los drones. La tesis está siendo investigada para obtener el grado de Ingeniero Civil a nombre d la Nación en la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

Según la asociación mundial de carreteras (PIARC) la infraestructura vial de carretera constituye uno de los mayores activos y es propiedad del ente encargado de las administraciones de carreteras. Está compuesta por caminos pavimentados, carreteras afirmadas, puentes, pasos elevados, túneles, luces y señalamientos viales, alumbrado público, etc. Esta entidad tiene la responsabilidad y la obligación de mejorar, mantener, reemplazar, operar y conservar estos activos en buenas condiciones para prestar un mejor nivel de atención al público mediante la gestión eficaz de un presupuesto ajustado y recursos humanos limitados (Asociación Mundial de Carreteras, 2018, pp7).

Cruz y Gutiérrez (2019) consideran que “los actuales métodos de inventario vial para la planificación en detección de calidad de las vías son lentos, requieren de brigadas y son costosos”(p.3), además “a la actualidad no se contempla un mantenimiento vial idóneo trayendo como consecuencia el abandono de la vía, la cual pierde su transitabilidad provocando la necesidad de una nueva intervención económica basada en un mantenimiento periódico que como resultado nos da un gasto económico mayor” (Salvatierra, 2017,p.3).

A consecuencia de la singularidad de los caminos de gravas y su variabilidad en diferentes localidades, la calificación y evaluación de estos caminos requiere un distinto punto de vista, estas evaluaciones son similares al de pavimento de concreto o asfalto. La condición de la carretera a nivel de afirmado está vinculada con varios factores, incluida la integridad estructural, rugosidad, capacidad estructural, y tasa de deterioro. Estos factores requieren equipos costosos y personal altamente capacitado. No obstante, pueden ser evaluados midiendo y observando el nivel del deterioro de la superficie. Comúnmente utilizando los enfoques de evaluación que están basados en manuales tales como *Gravel Paser* del centro de información de transporte de Wisconsin o el manual *Unsurfaced Road Condition Index (URCI)*.

En el desarrollo del estudio del estado de carreteras sin pavimentar, se realizarán mediciones. Aunque los equipos necesarios para iniciar dichos trabajos son simples, la medición puede consumir demasiado tiempo y una gran cantidad de trabajo laborioso que por lo general toma de 20 a 40 minutos para la medición en un solo lugar.

Debido a la dificultad en la medición del terreno y debido al alto costo, tal estudio no es práctico para la gran parte de las autoridades locales de gestión de carreteras, las agencias de gestión de transporte se basan en gran medida en una simple inspección o incluso en alguna encuesta de todas las regiones (Zhang C., 2009).

Vemos por conveniente dar a conocer la historia económica aplicada en la infraestructura peruana, para mostrar de manera holística los problemas en periodos determinados de tiempo.

Para empezar, nos enfocaremos en las deficiencias presentadas en toda el área de la infraestructura básica (Transportes, Vivienda, Educación, Salud, Agricultura e Interior) en donde la brecha alcanza aproximadamente los US\$ 69 mil millones. Esto equivale al 35% del Producto Bruto Interno (PBI) según el estudio multianual 2017-2019, elaborado por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), donde se calcula que la brecha cerraría en un periodo de 14 años. De acuerdo al Instituto Peruano de Economía (IPE) señala que la brecha en la infraestructura de transportes asciende a US\$ 57,499 millones para el periodo 2016-2025 que, a comparación al resto de sectores, es la brecha más grande por cerrar.

A diferencia del resto de países de la alianza del Pacífico, (Colombia, Perú, México y Chile) el Perú no cuenta con un plan nacional de infraestructura. Esto conlleva a que los gobiernos regionales tengan una idea individualista es decir resolver problemas puntuales más no una solución integral y a largo plazo (Instituto Peruano de Economía, 2017).

Según Cruz y Gutiérrez (2019) indican que:

La mayoría de los gobiernos locales no cuentan con información que les permita elaborar su plan operativo para trabajos anuales. Entre otras especialidades, se carece de información en cuanto al estado de deterioro en que se encuentran las vías que administran. La falta de una evaluación superficial o relevamiento de las

fallas existentes en los caminos, impide realizar una racional planificación de trabajos correctivos, lo que propicia una programación improvisada de medidas correctivas.

Existe una inadecuada política de mantenimiento en donde se priorizan las rehabilitaciones sobre el mantenimiento de carreteras. No existe una política expresa para el financiamiento del mantenimiento auto sostenible. Esto le generó pérdidas al estado 718.4 millones de dólares entre 1991 y 2007 (IPE,2017).

La problemática actual se debe a que las superficies de rodadura de las carreteras vecinales se encuentran en su mayoría deterioradas por diversos factores como situaciones meteorológicas o tránsito vehicular esto se debe a las deficiencias en gestión vial y asignación de recursos, pese a ser esta la carretera más extensa, es en la que menos se invierte (Lazarte, 2016).

Para la realidad actual hemos visto por conveniente explicar la manera en que se ejecutan los expedientes técnicos de las carreteras de bajo volumen en pueblos rurales, estas son mayormente ejecutadas por los gobiernos locales en donde existen circunstancias adversas a la actividad (políticos, sociales o económicos) para que inicien oportunamente el proceso de elaboración del proyecto y, sin una planificación a largo plazo.

Cruz J. y Gutiérrez J. (2018) afirman que:

La falta de políticas de inversión y de estrategias adecuadas para el mantenimiento de vías genera el deterioro acelerado de la superficie de rodadura y con la consecuente protesta de los usuarios. Por otro lado, el tiempo invertido en los trabajos de evaluación en vías se dificulta ya sea por accesibilidad a orografía a clima sin contar los riesgos al que se es expuesto (pp 23).

Conocer el estado de condición que tiene una vía es el componente vital en el sistema de mantenimiento de carreteras de modo que se conseguirá una proyección a futuro del estado de la carretera. Existen un sin número de métodos que permiten realizar el relevamiento de fallas, uno más preciso que otro, pero todos estos coinciden en que si se cuenta con una cuantificación precisa de la condición actual se conseguirá una proyección exacta (Macedo, 2020).

Para poder valorar estos factores, es conveniente utilizar un indicador denominado “costo de operación” de una carretera, el cual representa la suma total de los gastos que efectúan los usuarios al transitarla, como son el consumo de combustibles, la depreciación de los vehículos, el desgaste de neumáticos, el costo del tiempo de los usuarios, etc. Es evidente que cuando una carretera presenta deterioros y fallas como las mencionadas, el costo de su operación se incrementa notablemente, ocasionando pérdidas económicas, problemas sociales, molestias y quejas, entre los usuarios (Salvatierra, 2017).

Un problema frecuente en varios países es el deterioro de las carreteras (baches, grietas, surcos etc.) generados por diversos factores como el clima, vehículos pesados, charcos; Usualmente son los pobladores y usuarios de estas los que informan por diferentes medios tales como plataformas virtuales sobre su ubicación y superficie mas no la descripción geográfica (área, profundidad, perímetro), solucionar este problema demanda tiempo y dinero para la adquisición de datos. Por ello la autoridad local debe asignar a una persona para la inspección y monitoreo del estado de la carretera (Mat, A. y Nizama, K., 2019).

La detección temprana de grietas en la superficie de la carretera puede ayudar al mantenimiento de vías antes de la reparación en donde los costos se vuelven demasiado altos. Actualmente se han desarrollado nuevos métodos para la ejecución del inventario vial. Recientemente, muchos investigadores han propuesto una recopilación eficiente de datos sobre el estado de la vía. Se han realizado avances significativos en este campo y se han se han propuesto nuevos enfoques.

“Con el rápido avance de la tecnología de la información y la teledetección, exploramos el uso de tecnología de procesamiento de imágenes y teledetección basadas en UAV para la evaluación de carreteras sin pavimentar” (Zhang C., 2009, p.13).

Parra, R (2019) En los últimos años el uso del dron con fines de levantamiento fotogramétrico ha dado buenos resultados en la obtención de cartografía, no obstante, su uso en el levantamiento de vías es muy escaso puesto que en la mayoría de casos se trabaja de manera tradicional.

1.1.1 Problema General

¿En qué medida se aplicaría el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen?

1.1.2 Problemas Específicos

a) ¿Cuáles son los tipos de drones que se pueden usar para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial de una carretera de bajo volumen?

b) ¿Cuáles son los tipos de sensores para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial en carreteras de bajo volumen?

c) ¿Cuál es el tipo de hardware y software para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial en carreteras de bajo volumen?

1.2 Objetivo General y Específico

1.2.1 Objetivo General

Determinar el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs), el tipo de dron, el tipo de sensor, el hardware y software para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Identificar el tipo de dron a usar para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial de una carretera de bajo volumen

b) Identificar el tipo de sensor para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial en carreteras de bajo volumen

c) Determinar el tipo de hardware y software para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial en carreteras de bajo volumen.

1.3 Delimitación de la investigación: Temporal, Espacial y temática

1.3.1 Delimitación Temporal

El análisis se efectuará tomando como base de estudio el Manual de Inventarios viales-Parte IV- Inventario vial para la planificación vial estratégica de

la red vial vecinal o rural de los gobiernos locales del año 2015 hasta la tesis Cálculo del índice de condición del pavimento con imágenes del vehículo aéreo no tripulado de Cruz, J. del año 2018.

1.3.2 Delimitación Espacial

La presente investigación toma como delimitación espacial en Lima provincias (Costa y Sierra).

1.3.3 Delimitación Temática

El móvil de esta investigación radica en proponer el levantamiento de fallas asistido por el sistema de aeronave pilotadas remotamente para intervenir en carreteras de bajo volumen en lima provincias.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Importancia

El propósito de la investigación realizada, es proporcionar novedosos métodos de inventarios viales con la finalidad de conservar el patrimonio vial.

La importancia de esta tesis radica que al aplicar un óptimo análisis cuantitativo de fallas mediante un método moderno basados en fotointerpretación en caminos de bajo volumen podremos sacar el máximo provecho a este tipo de vías ya que representa el mayor porcentaje del patrimonio vial peruano.

En este sentido, se tendrá un mejor acceso en los caminos rurales y con ello el crecimiento de la productividad agrícola; El beneficio social sería la creación de nuevas oportunidades de empleo y la reducción de la pobreza.

1.4.2 Justificación teórica

Debido a la necesidad de mantener la red vial vecinal en óptimas condiciones, hoy en día es más que necesario la implementación de un moderno sistema de control en caminos de bajo volumen específicamente con la evaluación del índice de condición.

En este sentido, los vehículos aéreos no tripulados (UAV) contribuyen en gran medida a este problema siendo un método novedoso que permitirá un acceso a la información de manera inmediata para la correcta evaluación.

El empleo de vehículos aéreos no tripulados constituye una variable de suma importancia en caminos de bajo volumen ya que con este método se resolverán problemas constantes en la ejecución de la actividad. La presente investigación contribuirá con el enriquecimiento técnico en la ingeniería.

1.4.3 Justificación metodológica

Debido a que se tiene datos cuantitativos como los costos y también datos cualitativos como los tipos de fallas se dedujo que la presente investigación realizada tiene un enfoque mixto.

1.4.4 Justificación práctica

El desarrollo de la presente investigación se enfocará en el empleo de los vehículos aéreos no tripulados en dónde podrán dar como resultado un levantamiento confiable de tal manera que permitirán el correcto análisis de tipos de fallas.

Por lo tanto, se desarrollarán procesos por los cuales se garantizará los resultados, minimizando costos y reduciendo riesgos.

1.4.5 Justificación social

Esta investigación pretende agilizar el proceso en la elaboración del expediente técnico con la finalidad de una adecuada ejecución y liquidación de obra.

En ese sentido se mejoraría la calidad de vida de los pueblos rurales disminuyendo tiempo viaje, conservación de productos y reduciendo enfermedades.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de la investigación

Es común pensar que los sistemas de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) es tecnología desarrollada en las últimas décadas, lo cierto es que estos vehículos son contemporáneos con la creación de naves tripuladas.

Los drones, como muchas tecnologías, vieron su iniciación como una aplicación de carácter militar, durante el siglo XIX en donde se ponían a prueba globos aerostáticos no tripulados con fines militares desarrollados por el ejército austriaco.

La evolución natural de lo que hoy conocemos como vehículo aéreo no tripulado (VANT) paso por el uso del vapor como motor, hasta desarrollar las primeras fotografías de reconocimiento aéreo, al hacer de un cometa, un equipo, adaptando una cámara en ella, que posteriormente se empleó en la guerra hispano-americana de 1898, tecnología que fue mejorando y usada más adelante durante la primera guerra mundial, por los Estados Unidos (Cuerno-Rejado, et al., 2016).

A finales del siglo XIX, de la mano del físico e inventor Nikola Tesla, se diseñó y creo un vehículo (un barco a escala) tripulado por radio control; este invento tuvo una cadena de eventos en beneficio de las aeronaves a escala, al poder brindar la posibilidad a los usuarios de controlarlos a distancia gracias a la radio frecuencia. Dicha tecnología fue empleada por los ejércitos de las potenciales mundiales a comienzos del siglo XX, con la incorporación del giroscopio a prototipos VANT logrando una mejor estabilidad, control y desarrollo de vuelo (Cuerno-Rejado, et al., 2016).

Las innovaciones de los drones se vio retrasada durante un periodo considerable de tiempo debido a que los ejércitos tomaron interés en el empleo de misiles controlados de manera remota, ya que los resultados para los fines bélicos eran convenientes y no sería hasta la guerra con Vietnam que se insertó el uso sensores y supercomputadoras para el apoyo a la logística del campo de batalla, fue en este periodo que se empleó el modelo Firebee (Ver Figura N°1) que se dedicaba al reconocimiento del terreno y sobrevolar zonas críticas con la finalidad de identificar movimientos y visualizar la logística del enemigo (Vértiz, M. 2019).

Fue durante los años setenta que se volvió a impulsar el desarrollo de la tecnología VANT, en donde se buscaba mayores atributos como mantener el vuelo durante las veinticuatro horas, capas de ser pilotados desde un terreno y volar a gran altitud, desarrolladores como Ryan y Boeing se reunieron para dicho propósito, esto se consideró el proyecto más ambicioso de la fuerza aérea de los Estados Unidos hasta esa fecha; nacieron prototipos “mini” (como el modelo Aquila RPV-dron) que podían transportar cámaras de video y laser (Vértiz, M. 2019).



Figura N° 1: Misiles modelo Ferebee

Fuente: <http://www.designation-systems.info/>

En la época de los ochentas, donde la evolución del control electrónico y la computación estaban en pleno apogeo, se comenzó a plantearse la idea de combinar esta tecnología con la del VANT dando como resultado los primeros drones de uso no militar en post del desarrollo civil, brindando la oportunidad a la inversión e investigación de grandes casas de estudios para la mejora de estos prototipos las cuales dieron forma a los drones que conocemos hoy en día (Vértiz, M. 2019).

Los vehículos no tripulados han recibido diferentes denominaciones a lo largo de su historia tales como aeromodelos de recreo o modelos deportivos controlados por

radio, un extenso conjunto de denominaciones por medio de acrónimos, como RPV, SPA, UMA, UAV, UAS o el reciente RPAS, un amplio número de denominaciones para un mismo concepto (Vértiz, M. 2019).

Debido a sus características, Latinoamérica empezó a importar una importante cantidad de estos vehículos con la finalidad de, principalmente, resolver las problemáticas de aquejan a cada uno de estos países:

Los países de América Central y del Sur poseen unas características peculiares que hacen que el estudio de empleo del sistema RPA tenga una apreciación distinta.

Las de extensión geográfica, la tipología y topografía del terreno responden en general a áreas muy extensas, densamente forestadas, con grandes variaciones de altitud y climatología, baja densidad demográfica y climatología variada, desde ecuatorial a invernal constante. Los sectores sociales donde se estima que la utilización de RPAs sería favorable para este ámbito abarcan desde la Seguridad Ciudadana (vigilancia y supervisión continua), hasta la conservación de la Naturaleza (vigilancia de extensas zonas de foresta, ríos o cultivos) (Sánchez, G., Mulero, M y Saumeth, E.,2013).

La descripción orográfica y características climatológicas particulares del Valle del Río Apurímac y Ene –VRAE renovó nuevamente el interés del Perú en el desarrollo y adquisición de UAV's, como herramientas para la lucha que se daba a cabo en esta zona, en contra de los refugios y fortalezas de la agrupación terrorista “sendero luminoso”.

En este sentido, el Ejército Peruano debió concentrar sus esfuerzos en la actividad de vehículos tácticos, que, en misiones de carácter focalizado, recopilen sobre áreas determinadas, informaciones del tipo Inteligencia-Vigilancia-Reconocimiento (ISR), y con base en ella realizar operaciones aéreas y terrestres, rápidas y contundentes. No obstante, el interés peruano se remonta a mediados de la década de los años 90, justo después del conflicto con el Ecuador, momentos a partir de los cuales comienza el trabajo conjunto con la Oficina de Investigación y Desarrollo del Ejército (Sánchez., Mulero, M y Saumeth, E.,2013).

El ejército del Perú considera que en su estructura operativa del comando de apoyo al desarrollo nacional (COADNE) como ente ejecutor de la dirección de apoyo al

desarrollo nacional (DIRADNE), que para cumplir con sus misiones, deberes y actividades propias de su función esencial congrega unidades de ingeniería y otros con reducidos efectivos equipamiento y presupuestos lo cual se hace necesaria el recurrir a la tecnología cómo los vehículos aéreos no tripulados (Zelada, E., Roncal, M., Rosado, G., 2018).

A la actualidad se sabe de un “prototipo desarrollado por la armada peruana llamada ARPON III (Ver figura N° 2), está diseñado para operar (despegue y aterrizaje) desde las cubiertas de las Fragatas Clase Lupo, aunque sus características sean a la fecha clasificadas” (Sánchez., Mulero, M y Saumeth, E.,2013).



Figura N° 2: Modelo Arpon III

Fuente: <http://www.designation-systems.info/>

Gracias al uso del drone, el desarrollo de la fotografía mejoró notablemente en la resolución de imágenes. En este punto la fotogrametría llega a ser conocida y usada en ámbitos ingenieriles.

La intención de la fotogrametría es identificar las posiciones y dimensiones de objetos en el espacio, por medio de medidas efectuadas por la confluencia de dos o más fotografías. Al trabajar con una foto se puede conseguir información en primera instancia de la descripción geométrica del objeto, es decir, imágenes bidimensionales.

En cambio, con dos fotos, en la zona concurrente a éstas (zona de solape), se tendrá una visión estereoscópica; o, dicho de otro modo, información tridimensional (Tacca, 2015).

Par entender la fotogrametría mostraremos a continuación los distintos tipos de equipos (analógico, analítico, digital) que se utilizaron a lo largo del tiempo:

a) Equipo analógico

Estos sistemas aparecieron a comienzos del siglo XX consiste en una reconstrucción instrumental a través de restituidores analógicos constituidos por componentes ópticos y mecánicos (Ver figura N° 3). Este equipo bregaba con la fotografía física en formato negativo, el desarrollo fotogramétrico incorporando medidas obtención de cartografía y orientación era de manera manual. No obstante, se obtenía una gran precisión, pero tenían ciertas limitaciones por construcción al momento de bregar con ciertos formatos giros elevados y distorsiones. Actualmente se consideran aparatos costosos voluminosos sirven como medio de información en base a la historia de la fotogrametría (Arriola S., Ferencz, A., Rimolo-Donadio, R., 2018).

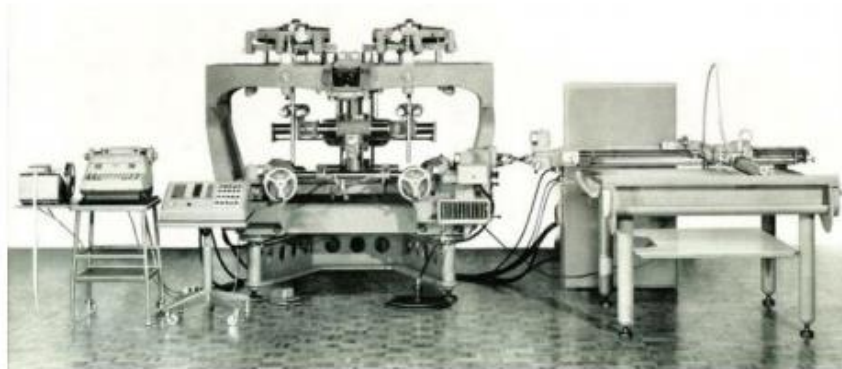


Figura N° 3: Autógrafo Wild A7 con mesa de dibujo y registrador de coordenadas

Fuente: Valbuena, 2014

b) Equipo analítico

Se trata de la reconstrucción numérica, en otras palabras, a partir de coordenadas. El empleo de este instrumento llamado restituidor analítico (Ver figura N° 4) sustituye los elementos mecánicos por servomotores y objetos electrónicos. Esta tecnología fue ideada en la década de los 50 posteriormente se comercializó en los años 60, donde gracias a la intervención de un computador central se permitió hacer las orientaciones

numéricamente, el encargado de manipular este sistema realizaba únicamente la medida de puntos necesarias en cada etapa del proceso (Arriola S., Ferencz, A., Rimolo-Donadio, R., 2018).



Figura N° 4: Restituidor analítico Kern DSR 15

Fuente: Valbuena, 2014

c) Equipo digital

De manera similar la reconstrucción sigue siendo numérica, sin embargo, el hardware utilizado, sistema fotogramétrico digital (Ver figura N° 5), se ve disminuida a un computador equipado con una aplicación informática específica y aparatos de captura, de estereoscópica visión de posicionamiento y medición (Arriola S., Ferencz, A., Rimolo-Donadio, R., 2018).



Figura N° 5: Cartografía básica para catastro

Fuente: Valbuena, 2014

La infraestructura vial o patrimonio vial es un bien de capital muy importante y de alto costo de construcción para el país y nunca se tiene suficientemente recursos como

para construir todas las carreteras que el país necesita. La existencia de las actuales carreteras ha significado un esfuerzo permanente no sólo económico en recursos monetarios invertidos, sino también en esfuerzo personal de millones de pobladores desde épocas remotas, que necesitaban integrarse entre ellos.

El objetivo principal del Inventario de Condición es preparar los inventarios visuales detallados y las medidas por realizar luego, por equipos especializados. Es necesario para aclarar de antemano cualquier duda sobre las características de la carretera, en particular su inicio y su fin, y proporcionar a los equipos de campo toda la información necesaria para que puedan trabajar sin error. La experiencia enseña que los malentendidos pueden generar errores o discrepancias que cuestan mucho tiempo y esfuerzos para corregirlos en la oficina (Manual de carreteras conservación vial,2013)

La importancia de un inventario vial actualizado permite implementar la gestión vial en las carreteras departamentales y monitorear las carreteras nacionales y vecinales. El deterioro de un pavimento se debe a factores como variaciones de clima, insuficiencia de estructuras de drenaje, incremento del tránsito de vehículos con respecto a las estimaciones del diseño del pavimento, todo ello durante su vida de servicio. Para la evaluación de condición de un pavimento se comienza con la recolección de datos para determinar el tipo, la cantidad y la severidad del deterioro superficial. El dato acerca de la condición del pavimento es importante para que los trabajos de mantenimiento y rehabilitación sean evaluados y determinados, así mismo son usados para pronosticar el comportamiento del pavimento. Podemos medir la condición del pavimento usando los factores mencionados a continuación:

Deterioro superficial: deterioro en la superficie del pavimento

Capacidad estructural: Se refiere a la carga máxima y numero de repeticiones que el pavimento puede sostener.

Rugosidad: Considerada de gran importancia especialmente en pavimentos con limites alto de velocidad.

Resistencia al deslizamiento (fricción): El pavimento provee fricción la cual evita problemas (Rojas, H.,2012).

Para identificar que técnicas de mantenimiento son las óptimas para mejorar la servicialidad del pavimento; en primera instancia se debe evaluar la vía y saber el estado de condición. Donde el método PCI (*Pavement Condition Index*) y VIZIR (visión e inspección de zonas e itinerarios en Riesgo) son algunos métodos para la evaluación superficial de pavimentos (Morales, M., 2019).

Método PCI: Establece el estado de condición del pavimento a través de inspecciones visuales, indicando clase, severidad, cantidad de fallas encontradas (Ver tabla N° 1).

Tabla N° 1: Tipo de falla por el método PCI

Nombre de la Falla	Código	Unidad de Medida
Piel de cocodrilo	1	m2
Exudación	2	m2
Agrietamiento en bloque	3	m2
Abultamiento y hundimientos	4	m
Corrugación	5	m2
Depresión	6	m2
Grieta de borde	7	m
Grieta de reflexión de junta	8	m
Desnivel carril/berma	9	m
Grietas longitudinales y transversales	10	m
Parcheo	11	m2
Pulimientto de agregados	12	m2
Huecos	13	m2
Cruce de vía férrea	14	m2
Ahuellamiento	15	m2
Desplazamiento	16	m2
Grieta parabólica	17	m2
Hinchamiento	18	m2
Desprendimiento de agregados	19	m2

Fuente: “Manual del PCI” de Ingeniería de Pavimento (2013).

Metodología de pavimento VIZIR: Es una metodología de fácil aplicación, la cual establece una diferencia entre las fallas funcionales y estructurales del pavimento, esta metodología clasifica los daños o deterioros de la rodadura asfáltica en dos categorías, A y B, cuya identificación de gravedad se presentan en las tablas. Las degradaciones del Tipo A (Ver tabla N°2) caracterizan una condición estructural del pavimento. Se trata de deformaciones debidas a insuficiencia en la capacidad estructural del asfalto.

Tabla N° 2: Deterioros del tipo A

Nombre del deterioro	Código	Unidad de medida
Ahuellamiento	AH	m
Depresiones o hundimiento longitudinales	DL	m
Depresiones o hundimiento transversales	DT	m
Fisuras longitudinales por fatiga	FLF	m
Fisuras piel de cocodrilo	FPC	m
Bacheos y parcheos	B	m

Fuente: “Instructivo para la evaluación visual y la evaluación de los deterioros de los pavimentos asfálticos en carreteras” de INVIAS (2007)

Como se aprecia las muestras los deterioros del tipo A los cuales se identifican la condición de la estructura del pavimento y el nivel de daño que sufre la carretera (Ver figura N° 6):

Ahuellamiento: Depresión longitudinal continua en zonas localizadas, generalmente en la trayectoria de circulación de las llantas del vehículo, la cual puede generar levantamientos en las zonas adyacentes a lo largo de la depresión.

Depresiones o hundimientos longitudinales y transversales: Este tipo de deterioro está asociado a diversas causas, dentro de las cuales se encuentran: asentamiento localizado de la subrasante; deficiencias en el proceso constructivo como, por ejemplo, mala compactación.

Fisuras longitudinales por fatiga: Corresponden a fisuras predominantemente paralelas al eje de la vía y localizadas en áreas sujetas al tránsito vehicular (huellas del tránsito).

Fisuras piel de cocodrilo: Corresponde a una serie de fisuras interconectadas que se generan formando polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente localizadas en áreas sujetas al tránsito vehicular. El fisuramiento se inicia en la parte inferior de las capas asfálticas donde los esfuerzos y las deformaciones de tensión producto de las cargas repetidas de tránsito, alcanzan su mayor magnitud.

Bacheos y parcheos: Corresponde a áreas donde se ha realizado la remoción y reemplazo del pavimento, por materiales generalmente similares a los del pavimento original (Leguízamo, P., 2007).

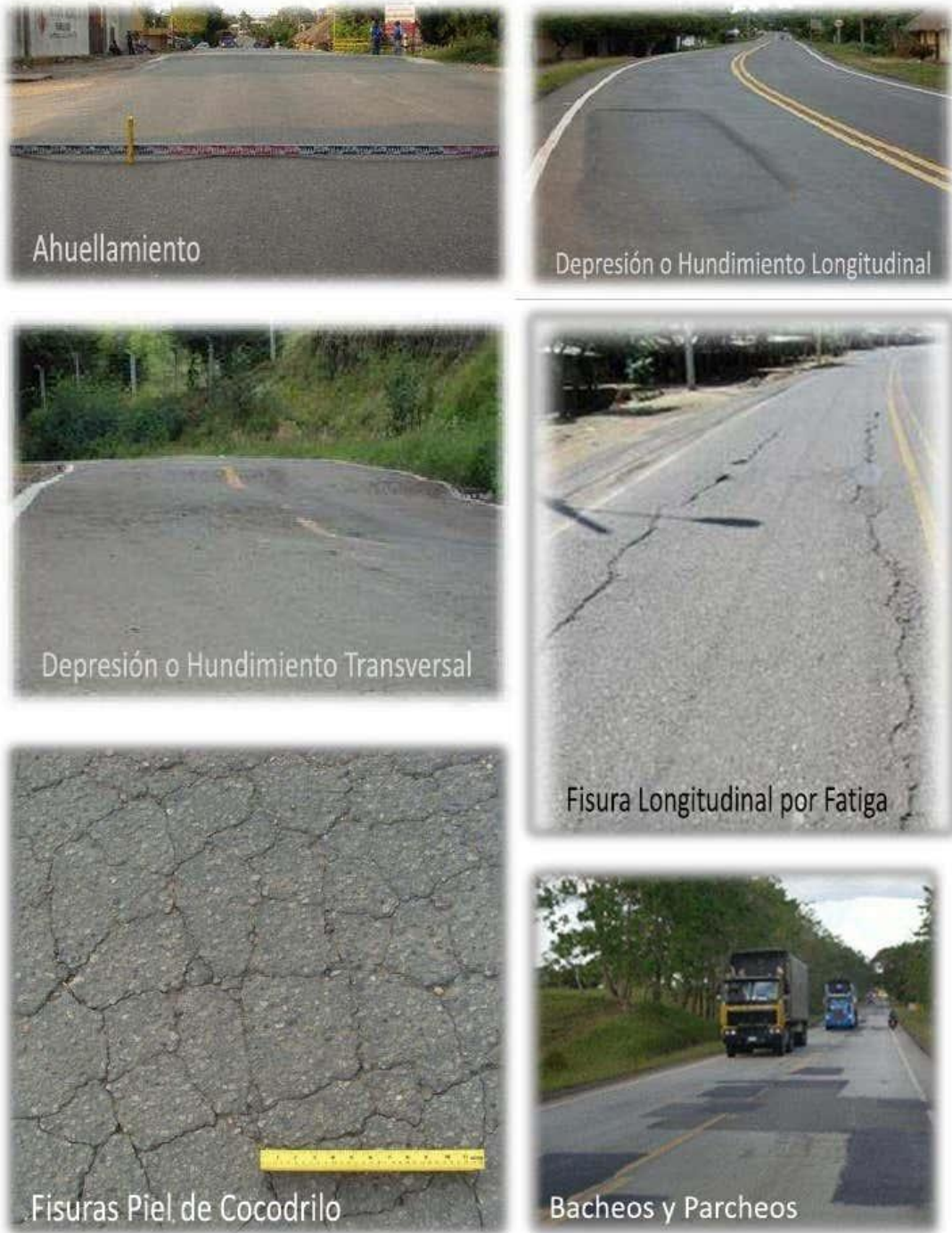


Figura N° 6: Deterioros del tipo A

Fuente: “Instructivo para la evaluación visual y la evaluación de los deterioros de los pavimentos asfálticos en carreteras” de INVIAS (2007)

Las deformaciones del tipo B (ver tabla N°3), en su mayoría de tipo funcional, dan lugar a reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad estructural del asfalto (Sierra, C., Rivas, A. ,2016).

Tabla N° 3: Deterioros del tipo B

Nombre del deterioro	Código	Unidad de medida
Fisura longitudinal de junta de construcción	FLJ	m
Fisura transversal de junta de construcción	FTJ	m
Fisuras de contracción térmica	FCT	m
Fisuras parabólicas	FP	m
Fisura de borde	FB	m
Ojos de pescado	OP	m
Desplazamiento o abultamiento o ahuellamiento de la mezcla	DM	m
Pérdida de la película de ligante	PL	m
Pérdida de agregados	PA	m
Descascaramiento	D	m ²
Pulimiento de agregados	PU	m
Exudación	EX	m
Afloramiento de mortero	AM	m
Afloramiento de agua	AA	m
Desintegración de los bordes del pavimento	DB	m
Escalonamiento entre calzada y berma	ECB	m
Erosión de las bermas	EB	m
Segregación	S	m

Fuente: Instructivo para la evaluación visual y la evaluación de los deterioros de los pavimentos asfálticos en carreteras de INVIAS (2007)

Se observa los deterioros del tipo B donde se identifican la condición de la estructura del pavimento y el nivel de daño que sufre la carretera (Ver figura N° 7 y figura N° 8).



Figura N° 7: Deterioros del tipo B

Fuente: Instructivo para la evaluación visual y la evaluación de los deterioros de los pavimentos asfálticos en carreteras de INVIA (2007)



Figura N° 8: Deterioro del tipo B

Fuente: “Instructivo para la evaluación visual y la evaluación de los deterioros de los pavimentos asfálticos en carreteras” de INVIAS (2007)

Por otro lado, las carreteras no pavimentadas o carreteras afirmadas presentan una calificación para cada tipo de deterioro o falla de la capa de rodadura (Ver tabla N°4):




Tabla N° 4: Fallas de las carreteras no pavimentadas

Código de daño	Deterioro / Fallas	Gravedad
1	Deformación	1: Huellas/hundimientos sensibles al usuario, pero < 5cm 2: Huellas/hundimientos 5cm y 10 cm 3: Huellas/hundimientos >= 10 cm
2	Erosión	1: Sensibles al usuario, pero < 5cm 2: Profundidad entre 5cm y 10 cm 3: Profundidad >= 10 cm
3	Baches (Huecos)	1: Pueden repararse con conservación rutinaria 2: Se necesita una capa de material adicional 3: Se necesita una reconstrucción
4	Encalaminado	1: Sensible al usuario, pero profundidad < 5cm 2: Profundidad entre 5 cm y 10 cm 3: Profundidad >= 10 cm
5 y 6	Lodazal y cruce de agua	1: Transitabilidad baja o intransibilidad en épocas de lluvia No se definen niveles de gravedad

Fuente: Manual de Carreteras de Mantenimiento MTC-2014 - tabla 4-1.

Se presentan las muestras para el entendimiento de los deterioros o fallas, así como la gravedad de cada una de ellas debido a los distintos factores que puede desencadenar en el daño de la carretera (Ver tabla N°5).

Tabla N° 5: Muestras de los deterioros de fallas en carreteras no pavimentadas

Deterioro de Fallas	Muestras
Deformación	<p>El ahuellamiento debido al desgaste superficial en las huellas del tráfico.</p> <p>Gravedad 2: Huellas/hundimientos entre 5 cm y 10 cm</p> 
Erosión	<p>Incluye los surcos erosivos creados por los escurrimientos de agua.</p> <p>Gravedad 3: Profundidad \geq 10 cm</p> 
Baches	<p>Resultan de aguas estancadas en la superficie de la carretera.</p> <p>Gravedad 3: Necesita una reconstrucción</p> 

Deterioro de fallas	Muestras
Encalaminado	<p>Ondulaciones de la superficie. Su causa se debe a las vibraciones transmitidas por vehículos</p> <p>Gravedad 1: Sensible al usuario pero < 5 cm</p> 
Lodazal y Cruce de agua	<p>Lodazal sección de suelo fino cuya transitabilidad es baja o hay intransitabilidad durante las épocas de lluvia. En épocas secas se recomienda mantenimiento, caso contrario los vehículos tendrán dificultades debido a las deformaciones del material</p>  <p>Cruce de agua</p> 

Fuente: Manual de Carreteras de Mantenimiento MTC-2014

Para carreteras no pavimentadas se describen a continuación dos tipos de métodos URCI Y TMH-12 Sudáfrica:

URCI (*Unsurfaced Road Maintenance Management*): Tiene como objetivo determinar las fallas de una carretera no pavimentada, estas fallas son determinadas

de forma visual y métrica y entre ellas tenemos la sección transversal incorrecta, drenaje inadecuado, corrugaciones, polvo, surco, entre otros; Estos tipos de deterioros permiten determinar el índice de condición con la ayuda de un formato, con el fin de obtener un componente muy importante como el sistema de manejo de mantenimiento (Urbano, K., Vargas, M., 2019).

Manual de evaluación visual para carretera no pavimentadas - TMH12: para poder determinar el estado de condición de una carretera no pavimentada se realiza un análisis y evaluación de manera visual, ya que este tipo de estudio se da para implementar información al sistema de gestión vial o un proyecto de red vial, tomando en consideración los siguientes parámetros de evaluación en los tipos de fallas, la severidad y magnitud, ya que estas permiten ver la condición de la carretera (Urbano, K., Vargas, M., 2019).

Por otro lado las carreteras de bajo volumen son vías en donde la concurrencia es menor a 400 vehículos por día (según ASSHTO), además las carreteras de bajo volumen no distinguen la superficie de rodadura en las vías, por lo tanto, existen carreteras de bajo volumen pavimentadas y no pavimentadas, por lo general las carreteras de bajo volumen se encuentran en la clasificación de red vial departamental y red vial vecinal en donde se pretende mostrar los kilómetros ejecutados hasta el año 2019 (Ver Figura N° 9).

AÑO	CLASIFICADOR DE RUTAS DEL SINAC	TOTAL	PAVIMENTADO				NO PAVIMENTADA			
			Nacional	Departamental	Vecinal	Sub-Total	Nacional	Departamental	Vecinal	Sub-Total
1990	D.S. N° 062-95-TC	69,942	5,740	1,058	766	7,564	9,952	13,386	39,040	62,378
1991	D.S. N° 062-95-TC	69,942	5,835	1,058	766	7,459	10,057	13,386	39,040	62,483
1992	D.S. N° 062-95-TC	69,942	5,800	1,058	766	7,624	9,892	13,386	39,040	62,318
1993	D.S. N° 062-95-TC	69,942	5,800	1,058	766	7,624	9,892	13,386	39,040	62,318
1994	D.S. N° 062-95-TC	69,942	5,800	1,058	766	7,624	9,892	13,386	39,040	62,318
1995	D.S. N° 09-95-MTC	73,439	6,477	1,089	790	8,356	10,042	13,242	41,799	65,083
1996	D.S. N° 09-95-MTC	73,766	6,761	1,013	790	8,564	9,903	13,300	41,999	65,202
1997	D.S. N° 09-95-MTC	75,807	7,130	989	874	8,993	9,615	13,441	43,758	66,814
1998	D.S. N° 09-95-MTC	78,112	8,140	1,106	942	10,188	8,812	13,145	45,967	67,924
1999	D.S. N° 09-95-MTC	78,127	8,141	1,106	942	10,189	8,826	13,145	45,967	67,938
2000	D.S. N° 09-95-MTC	78,213	8,522	1,106	945	10,573	8,531	13,145	45,964	67,640
2001	D.S. N° 09-95-MTC	78,251	8,693	1,106	947	10,745	8,399	13,145	45,962	67,506
2002	D.S. N° 09-95-MTC	78,319	8,989	1,105	950	11,044	8,169	13,146	45,960	67,275
2003	D.S. N° 09-95-MTC	78,397	7,990.0	1,106.3	942.0	10,038.3	8,867.0	13,144.7	46,347.0	68,358.7
2004	D.S. N° 09-95-MTC	78,396	8,521.0	1,106.0	942.0	10,569.0	8,336.0	13,145.0	46,346.0	67,827.0
2005	D.S. N° 09-95-MTC	78,506	8,730.9	1,106.0	942.0	10,778.9	8,126.1	13,145.0	46,456.4	67,727.6
2006	D.S. N° 09-95-MTC	79,506	8,911.0	1,106.0	942.0	10,959.0	8,946.0	13,145.0	46,456.4	68,547.4
2007	D.S. N° 034-2007/MTC	80,325	11,177.9	1,507.0	955.0	13,639.9	12,660.1	12,930.0	41,095.0	66,685.1
2008	D.S. N° 044-2008/MTC	81,787	11,370.4	1,478.0	790.0	13,638.4	12,532.5	18,217.0	37,399.0	68,148.5
2009	D.S. N° 044-2008/MTC	84,026	11,500.0	1,622.3	809.8	13,932.0	13,000.0	22,768.8	34,325.2	70,094.1
2010	D.S. N° 044-2008/MTC	84,245	12,444.9	1,987.6	880.5	15,313.0	11,150.9	23,786.6	33,994.3	68,931.9
2011	D.S. N° 036-2011/MTC	129,162	13,639.7	2,089.7	1,484.3	17,213.7	9,679.7	23,508.5	78,759.7	111,947.9
2012	D.S. N° 036-2011/MTC	140,672	14,747.7	2,339.7	1,611.1	18,698.6	9,845.7	21,895.4	90,232.7	121,973.8
2013	D.S. N° 036-2011/MTC	156,792	15,905.9	2,517.8	1,933.0	20,356.7	9,099.5	22,474.4	104,861.5	136,435.5
2014	D.S. N° 012-2013/MTC	165,467	17,411.5	2,429.8	1,924.6	21,765.9	8,377.4	22,582.5	112,740.8	143,700.7
2015	D.S. N° 012-2013/MTC	165,372	18,420.1	3,459.0	1,990.1	23,769.2	8,016.0	20,828.4	112,758.3	141,602.7
2016	D.S. N° 011-2016/MTC	165,905	19,682.4	3,695.7	1,915.0	25,293.2	7,000.9	21,608.2	112,002.5	140,611.7
2017	D.S. N° 011-2016/MTC	166,765	20,367.5	3,714.1	1,883.9	25,965.5	6,424.4	23,766.9	110,608.3	140,799.6
2018	D.S. N° 011-2016/MTC	168,473	21,434.0	3,623.1	1,858.9	26,916.0	5,675.6	23,882.5	111,999.0	141,557.1
2019*	D.S. N° 011-2016/MTC	168,954	22,172.5	4,261.3	2,335.8	28,769.6	4,881.2	23,378.3	111,924.7	140,184.2

Figura N° 9: Infraestructura vial existente, según departamento, 2019

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, data del SINAC (2019)

Las carreteras no pavimentadas representan la mayor parte del sistema de la red vial, con lo cual tomando como informe el reporte de la cámara de comercio de lima (CCL) diciendo que pese aquí han transcurrido 2 años desde que el niño costero causó serios estragos a la infraestructura del país, se estima que el 80% de las carreteras, en especial de las regiones, está muy dañadas y requieren con urgencia ser reparadas (El 80% de carreteras del país están en mal estado, 17 de marzo del 2019).

El diario Gestión concluye que el ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) deberá tener una coordinación con los gobiernos locales y regionales con el fin de gestionar mejor el mantenimiento de carreteras y con esto disminuir los costos (falta de carreteras representan el 20% de la brecha de total de infraestructura en el país, 5 de junio del 2016).

2.1.1 Investigaciones Internacionales

En la investigación titulada ‘Una evaluación completa de los métodos de recopilación de datos de inventario de carreteras’ Tuvieron como objetivo implementar el Manual de Seguridad Vial (HSM) (usado para estimar cuantitativamente la seguridad de una instalación de transporte mediante modelos matemáticos), que a nivel estatal tiene el potencial de permitir que las agencias de transporte aborden de manera proactiva los problemas de seguridad. Sin embargo; la utilización generalizada de HSM enfrenta conflictos significativos, ya que muchos departamentos estatales de transporte (DOTS) no tienen suficientes datos de inventario de carreteras requeridos por HSM. El DOTS estatal y las agencias locales han utilizado muchas técnicas para recopilar datos de inventario de carreteras con otros fines. No obstante, se desconoce cuál de estos métodos o cualquier combinación de ellos es capaz de recopilar de manera eficiente el conjunto de datos requerido mientras se minimizan los costos y los problemas de seguridad. El enfoque del estudio fue la de caracterizar la capacidad de los métodos existentes para recopilar datos de inventario de carreteras vitales para la implementación del HSM. Específicamente, este estudio evaluó los métodos de inventario de alto nivel existentes a través de una encuesta nacional y un análisis de campo prometedor de los métodos de Recopilación de Datos de Inventario de

Carreteras (HIDC) en varios tipos de segmentos de carreteras (Jalayer, M. et al., 2014).

(Dobson, R., et al., 2013) En el estudio titulado ‘Desarrollo de un sistema de evaluación de carreteras sin pavimentar para un despliegue práctico con recopilación de datos ópticos de alta resolución utilizando un helicóptero UAV’ da referencia a la necesidad de los gobiernos locales y las agencias de transporte de evaluar periódicamente el estado de las carreteras sin pavimentar de manera rentable con tiempos de respuesta rápida en donde se genera el interés en el uso de UAV (vehículos aéreos no tripulados) y tecnologías de detección remota. Actualmente, estas evaluaciones se realizan mediante inspecciones visuales con el personal de la agencia que realiza mediciones puntuales ocasionales. Se desarrolló un sistema de evaluación de carreteras sin pavimentar para abordar estos problemas y, al mismo tiempo, proporcionar un medio más preciso de caracterizar los problemas y determinar el estado de las carreteras para los inspectores. Este sistema utilizó un UAV de un solo rotor con una cámara réflex digital de lente única (DSLR) para capturar imágenes superpuestas de carreteras con superficies sin pavimentar. El UAV está equipado con una combinación completa de GPS más IMU (Unidad de medición inercial) que le permite volar sobre puntos de referencia predeterminados con gran estabilidad y, al mismo tiempo, permite pilotarlo en cualquier momento.

Vázquez, J. y Backhoff, M. (2017). En el estudio titulado “procesamiento geo-Informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte”, se estudiaron aspectos de temas como sensores, drones y la data que se origina a través de su empleo en la gestión de infraestructura de transporte. Asimismo, mencionaron cuáles eran las condiciones necesarias para conseguir la aplicación de esta innovadora tecnología. Se realizó un acercamiento a distintos programas que hoy en día se son usados para el análisis de los datos observados en campo mediante un vehículo aéreo no tripulado(VANT) y se mostró el uso del software más recomendado para tal fin. También mostraron visores de datos con

funciones básicas y software especializado en el desarrollo de datos. Se mostró la manipulación e integración de las nubes de puntos obtenidos en un Sistema de Información Geográfica (SIG), en este caso ArcGIS, en donde se procesan y visualizan utilizando las herramientas que dispone el software. Como muestra final se generaron productos como ortomosaicos, modelos digitales de elevación (DEM) y curvas de nivel, a partir de ello se pueden obtener cálculos de área, volumen, acumulación de agua y escurrimientos.

Vargas C. (2018). ‘Análisis Comparativo De La Inspección Visual De Un Pavimento Flexible, Por Los Métodos Tradicional Y Por Sensores Remotos En Un Kilómetro De La Calle Séptima En El Municipio De Cajica Cundinamarca’. En este estudio se Evaluó un tramo de vía para identificar los problemas o patologías, en el primer caso se usó el método tradicional que lleva ya algunos años, lo cual toma tiempo y en algunos casos desgasta al personal quien evalúa, así como algunos gastos económicos en la obtención de materiales para la toma de muestras e identificación de fallas. Se busca mediante la comparación de dos metodologías identificar cual es la más viable o factible para la evaluación de una vía de pavimento flexible. Donde el resultado definirá en temas de costo y tiempo la más óptima para la evaluación de esta.

Herrera y Maldonado I. (2017). Metodología para la Detección de Huecos o Baches en Vías Terciarias Urbanas a Partir de Imágenes de Alta Resolución Espacial, Usando Técnicas de Geobia y Lógica Difusa. Nos explica que las aplicaciones generadas a partir de sensores remotos han aumentado de manera vertiginosa, esto debido a la velocidad de la tecnificación en este campo científico. Dentro de un contexto urbanístico es relevante la creación de novedosas aplicaciones que posibiliten la solución de necesidades visibles para la sociedad común, de modo que el proyecto tiene como finalidad la detección de baches de una calzada vial a partir de imágenes de alta resolución implementando metodologías orientadas a objetos (GEOBIA). El proyecto parte con la toma de los datos en el lugar de estudio la cual busca obtener un GSD (Grand Sample

Distance) de muy alta resolución, esto permitirá el enfoque del objeto con alto detalle, la data es analizada mediante la designación de un algoritmo, el cual clasifica y segmenta a partir de características geométricas, temáticas, espectrales, y de lógica difusa. Estos generan como producto una metodología que proporciona la detección de huecos o baches dentro de una zona vial.

Brooks, C. et al. (2018) Implementación de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) para la valuación de la Infraestructura de Transporte - Fase II. El informe explica y efectúa demostraciones en el lugar de trabajo con plataformas de UAV demostrando el aporte en la evaluación de infraestructura. Uno de ellos es el hexacóptero Bergen que se utilizó con un sensor térmico debido a que son los más adaptados para imágenes de alta resolución de infraestructura de transporte, el sensor térmico permitió poder encontrar agrietamientos y su ubicación.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015). Inventario Vial para la Planificación Vial Estratégica de la Red Vial Vecinal o Rural de los Gobiernos Locales -Parte IV MTC: La institución nos muestra los procedimientos a seguir mediante etapas de trabajo para el levantamiento de información vial de las principales características físicas del camino vecinal o rural en donde permite obtener información actualizada de la red vial en cuanto a su longitud, ancho, estado señalización, entre otros. En ese sentido se busca

- 1.homogeneizar procedimientos de trabajo en la actividad de levantamiento de la información vial georreferenciada de la red vial de la provincia
- 2.definir adecuadamente términos empleados en el inventario vial vecinal o rural y su aplicación
- 3.contribuir en la construcción de un banco de datos cartográfico y alfanumérico del sistema vial de la provincia
- 4.su aplicación por el personal técnico de los gobiernos locales en la información básica de la red vecinal en el contexto de las elaboraciones y o actualizaciones de planes viales provinciales

En esta aplicación se utilizan procedimientos rápidos y sencillos con el empleo de tecnologías de posicionamiento global satelitales (GPS) navegadores y sistemas de información geográfica (SIG) mediante los cuales se pueda generar un banco de datos geográficos, cartográficos y alfanuméricos que permite la elaboración de reportes en mapas temáticos sobre la red vial inventario y características en el contexto de la gestión y planificación vial.

Fiestas, C. y Merino, F. (2020). En su tesis titulada ‘Cálculo del Índice de Condición del Pavimento Flexible a la Av. Don Bosco - Piura Usando Drones’: Hace uso de vehículos aéreos no tripulados con el fin de agilizar los procesos de inspección. Asimismo, se desarrollan propuestas de mantenimiento. Mostraron la metodología practica del empleo del drone, posteriormente, las imágenes recopiladas son llevadas a un procesamiento para una inspección visual en gabinete, logrando identificar fallas. Con la información obtenida, determinan un valor de PCI promedio para cada tramo de inspección y para cada calzada.

Mitten Salhuana, M. A. (2012). Procedimiento de inspección e inventario de obras de arte - carretera Cañete - Lunahuaná en el tramo km 29+000 al km 31+000, donde nos indica que la inspección e inventario de las obras de arte y drenaje es un tema de estudio e investigación muy amplio, por la diversidad de estructuras que contiene el sistema de drenaje de carreteras. Siendo, las carreteras obras de mucha importancia para el progreso y desarrollo del país, así como de los departamentos, distritos, poblados y comunidades que atraviesa, constituyendo un valioso patrimonio nacional que debe ser preservado mediante una conservación adecuada y oportuna, evitando de esta manera su prematuro deterioro. La desatención al estado de la carretera produce daños antes de lo esperado y habrá que asumir labores de rehabilitación, o incluso reconstrucción, medidas que resultan mucho más costosas que los gastos producto de una conservación sencilla y rutinaria a su debido tiempo. Por tal motivo se efectúan inspecciones e inventarios, con el inconveniente de que éstas tienden a ser subjetivas, muchas veces a criterio del evaluador de turno.

Macedo Sotelo, R. C. (2019). Inventario de la condición superficial con fines de mantenimiento de la carretera departamental no pavimentada ruta AN-106, tramo Vaquería-Yanama, aplicando el manual de mantenimiento o de conservación vial del MTC, año 2017. Esta tesis tiene como objetivo aplicar el método y lineamientos del Manual de Carreteras o Conservación del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para realizar el inventario y calificación de la Condición de la carretera departamental no pavimentada ruta AN-106, tramo Vaquería - Yanama, teniendo en cuenta sus componentes principales y puntuales; Con fines directamente al establecimiento de soluciones adecuadas de mantenimiento y/o conservación de acuerdo al inventario y calificación hallada; y como también la estimación de costos del mantenimiento propuesto.

2.2 Bases teóricas vinculadas a las variables de estudio

2.2.1 Drones

De la Serna, I. (2018) Para definir el dron decimos que es una nave aérea que no tiene piloto a bordo, pueden ser autónomos, es decir, no necesitan ser controlados por una persona en gran parte del vuelo ya que pueden ser pre-programados para una tarea específica y los drones de control remoto (RPAS) son aquellos que requieren ser operados desde una estación remota.

Los drones pueden ser aplicados en distintos rubros (Ver figura N° 10), según el libro Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil (2015) como:

- Aplicaciones al control de calidad del aire: Consiste en implementar al dron con instrumentos que le permitan medir el nivel de contaminación atmosférica en el ambiente. Se utilizó sensores electrónicos, los cuales permitirían hacer observaciones continuas mediante drones de la contaminación atmosférica en diferentes entornos con los rangos espaciales y temporales requeridos (Ecurra y Diaz, 2015)
- Aplicaciones cartográficas: Mediante los RPAs obtendremos datos espaciales en un periodo corto de tiempo y con resolución espacial a un costo bajo. En tiempos anteriores a la aparición de los drones se dependía de la disponibilidad de los satélites, vehículos aéreos pilotados o cartografía ejecutada en campo los cuales

servirán de base para los distintos procesos con el fin de elaborar la cartografía requerida (Sáez y Beltrán, 2015)

- Aplicaciones a la prospección y explotación de recursos minerales indica que los drones son ideales para la exploración y explotación de recursos mineros (López y Martin, 2015)
- Aplicaciones Hidrológicas menciona a los vehículos submarinos no tripulados y VANT para adaptarlos con herramientas flexibles y sean capaces de monitorear y controlar grandes masas de agua (Ramos y Montes, 2015)
- Aplicaciones en agricultura indica que su uso se basa en que los agricultores puedan monitorear su explotación a través del drone y obtengan una perspectiva de sus cosechas (Montesinos, 2015)
- Aplicación al seguimiento fitosanitario de masas forestales donde los drones captan la información, a través de los índices espectrales de los drones, para saber sobre el estado de la vegetación (Checa et al., 2015)
- Aplicaciones en la gestión del patrimonio y herencia cultural nos dice que el drone será empleado para obtener datos de zonas inaccesibles de los bienes patrimoniales (Domínguez, 2015)
- Aplicaciones al mantenimiento de líneas eléctricas se utilizará el drone para inspecciones aéreas, apoyo en actuaciones de emergencia, topografía (Reinoso, 2015).
- Aplicaciones de rescate nos dice que los drones son capaces de acudir a un punto fijado por GPS, con un desfibrador, y facilitar la asistencia técnica y médica desde la propia cámara del drone (Diaz, J. 2015)
- Aplicaciones urbanísticas, aplicaríamos el drone como sistema de vigilancia, inspección urbanística (Mesas, F. y García, A., 2015)



Figura N° 10: Aplicaciones de los drones

Fuente: De la Serna, I. (2018)

2.2.1.1 Clasificación de los drones

Los drones pueden clasificarse por su arquitectura: Drones de ala fija y multirrotores (Ver Figura N° 11).

Los de ala fija tienen semejanza a los aviones, se caracteriza por su alcance, tamaño y gracias a su forma geométrica les permite ahorrar energía. Estos drones necesitan de una persona para su despegue y aterrizaje, tienen escaso nivel de operación por lo que es complicado maniobrarlos en zonas de alta complejidad y los multirrotores (tricóptero, quadróptero, hexacóptero y octacóptero) son equipos más versátiles debido a su desplazamiento en los 3 ejes cuyas alas giran alrededor de un eje y debido a sus hélices de ángulo fijo son capaces de despegar y posteriormente aterrizar de manera vertical. Son maniobrables por esta razón son usados para trabajos donde se necesita de una mayor precisión, además vuelan a bajas alturas para una óptima toma de fotografías. La desventaja de este tipo de drones es el elevado consumo de energía debido a los rotores usados para su estabilidad y porque pueden cargar cámaras, sensores que suelen ser pesados por ende el tiempo de vuelo será reducido (Parra, 2019)

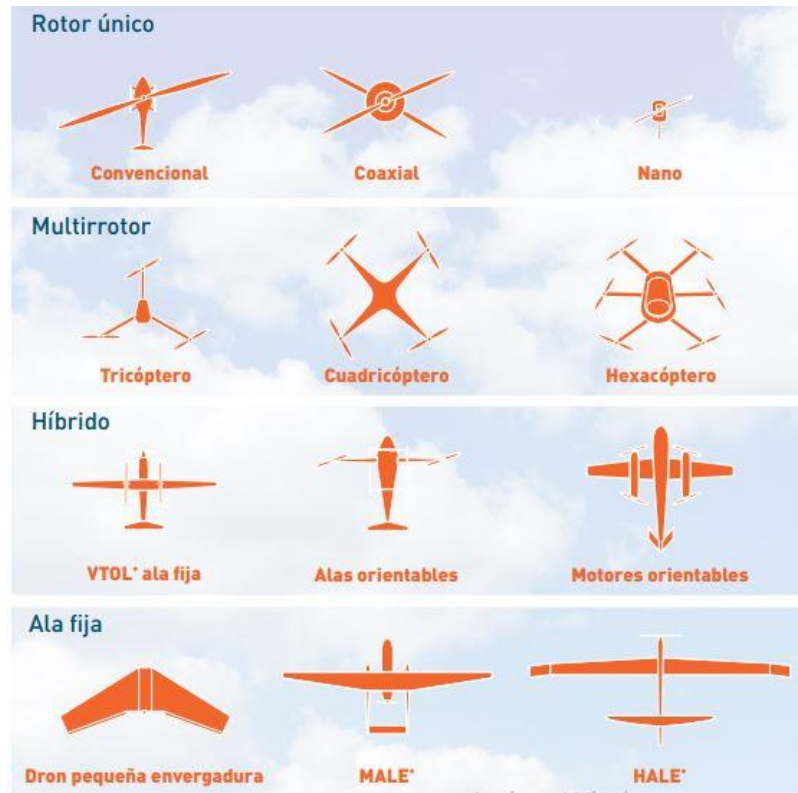


Figura N° 11: Clasificación de tipo de drones por su arquitectura

Fuente: De la Serna, I. (2018)

Existen drones multirrotos unos más sofisticados que otros, es decir con mayores implementos, características y con una variedad de precio, utilizados para realizar trabajos profesionales o usarlo para una actividad recreativa. Debido a la maniobrabilidad y requerimientos del usuario se emplea frecuentemente el dron multirrotor capaz de realizar la superposición de imágenes de mayor calidad que posteriormente se ven reflejados en los modelos digitales de elevación.

Según Medina (2012) también podemos clasificar los drones por su tecnología:

- CCD (Dispositivo de Carga Acoplada): Sensible a la luz y trabaja a manera de líneas de pixeles con una cobertura de los colores primarios: rojo, verde, azul (RVA), es más sensible a la luz que el CMOS, la batería se agotara más rápido ya que consume más energía, captura un rango más amplio de tonos (luces brillantes, tonos medios y sombras) en las fotografías.
- CMOS (Semiconductor Complementario de óxido metálico) se localizan en las cámaras profesionales: En la simplicidad de su estructura se puede visualizar un mejor desempeño, son menos sensibles a la luz, y las cámaras son económicas debido a su bajo consumo de energía.

2.2.1.2 Los componentes del dron:

Los drones están compuestos por:

- Marco o chasis
- Motores, hélices y ESC (control de velocidad electrónica)
- GPS Y Brújula
- Batería y cargadores
- El control remoto
- Estabilizador y cámara

Marco o chasis es el armazón del dron (UAV), donde van adheridos todos los componentes (motores, baterías, cámara, GPS, entre otros), para un funcionamiento perfecto. El material con el que está fabricado el marco del dron, es de aleaciones para que el material sea liviano y resistente (Aluminio, fibra de carbono) (Ver Figura N° 12).



Figura N° 12: Drone multirrotor de 4 rotores

Fuente: Implementación de VANT(vehículos aéreos no tripulados)”drones ”en la ingeniería de vías terrestres, Vértiz, M. (2019)

Motores, hélices y ESC (control de velocidad electrónica) El motor del dron una parte esencial, ya que este componente será el que mantendrá el aire al equipo. Es muy importante su relación de peso/potencia. El control de velocidad electrónica está encargado de generar las revoluciones necesarias a cada motor/hélice de modo independiente. Es lo que la da la potencia para maniobrar el dron. Despegue, aterrizaje, giro, atrás, adelante.

Las hélices son encargadas del despegue y aterrizaje del dron. El material que con que están fabricadas son generalmente de fibra de vidrio. La cantidad de hélices dependerá del peso del chasis (Ver Figura N° 13).



Figura N° 13: Motores, hélices

Fuente: <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/1121>

GPS Y Brújula: Se usa un GPS navegador y para mejorar la precisión se colocan puntos de apoyo o de control. El GPS y la brújula son componentes adheridos al dron para poder dar datos como la ubicación y el ángulo azimutal en que se encuentra el dron en vuelo (Ver figura N° 14). La ubicación que te da es en coordenadas geográficas (latitud y longitud)

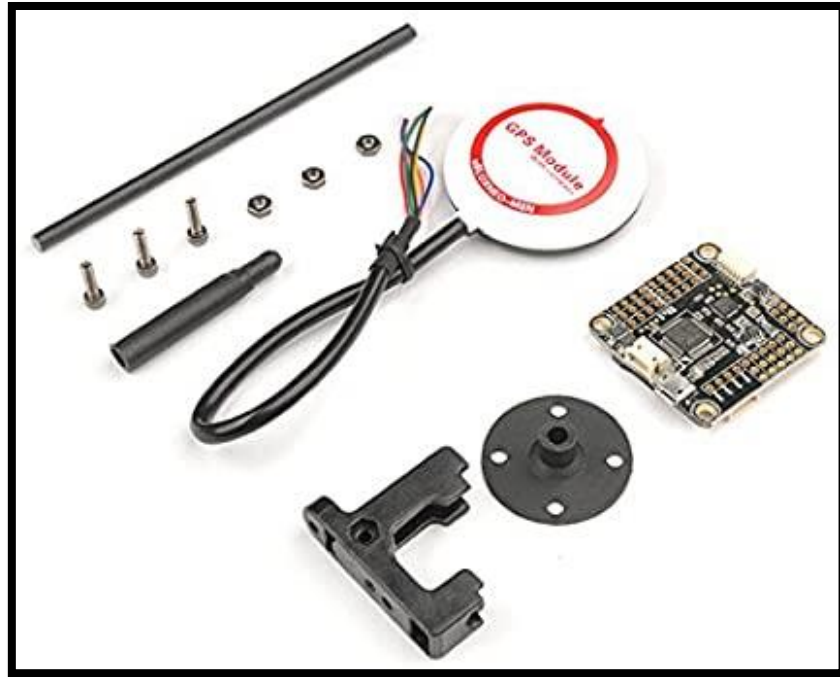


Figura N° 14: GPS

Fuente: <https://www.amazon.com.mx/>

Batería y cargadores: La batería es la encargada de proporcionar la energía suficiente para que le dron vuele. El material con la que están fabricados hace que sean pesadas, es por ello la importancia de la relación peso/capacidad. El tipo de batería que utilizan son Li-Po (polímero de litio) que nos brinda un tiempo de vuelo de 30 min. Posterior a la descarga de la batería es recomendable realizar la carga con un cargador compatible a la batería (original). Mando o control remoto con pantalla (dispositivo) (Ver Figura N° 15).



Figura N° 15: Batería y cargadores

Fuente: <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/1121>

El control remoto nos sirve para pilotear el dron de forma inalámbrica a larga distancia (Ver figura N° 16). Dentro de las características más resaltantes, el control remoto tiene las siguientes partes:

- Botón de encendido
- Botón de retorno al punto de origen
- Dial de configuración de cámara
- Palanca para girar la cámara
- Palanca para mover el dron
- Botón para obturar
- Puertos de tipo USB y micro USB
- Pantalla o dispositivo móvil, este componente es muy importante para el uso del dron, ya que se instalará aplicaciones para poder generar el plan de vuelo. De la misma forma nos sirve para poder visualizar todo el recorrido que realiza el dron durante el vuelo.



Figura N° 16: Control remoto

Fuente: Implementación de VANT(vehículos aéreos no tripulados)”drones “en la ingeniería de vías terrestres, Vértiz, M. (2019)

Estabilizador y cámara Es el componente del dron en donde se ubicará la cámara, el cual nos permitirá capturar las fotografías en pleno vuelo. Las cámaras que se utilicen dependerán del tipo de trabajo a realizar y también de la potencia que tenga el motor para el peso adicional que tendrá la cámara. El estabilizador nos permitirá tener captura de imágenes más estables en pleno movimiento. Teniendo fotografías con menos errores (Ver figura N° 17).



Figura N° 17: Estabilizador y cámara

Fuente: <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/1121>

2.2.2 Sensores

Los sensores son los que captan la información que posteriormente se procesaran para la realizar los análisis que se usara para diferentes tipos de trabajo como: Fotogrametría, topografía, etc.

Vázquez, J. y Backhoff, M. (2017) en su investigación titulada Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte nos explica sobre los sensores fotográficos que captan la radiación electromagnética. Este espectro electromagnético consta de rayos gamma, rayos X, ultravioleta, visible, infrarroja, microondas y ondas de radio y se diferencian por su longitud de onda o frecuencia (Ver Figura N° 18).

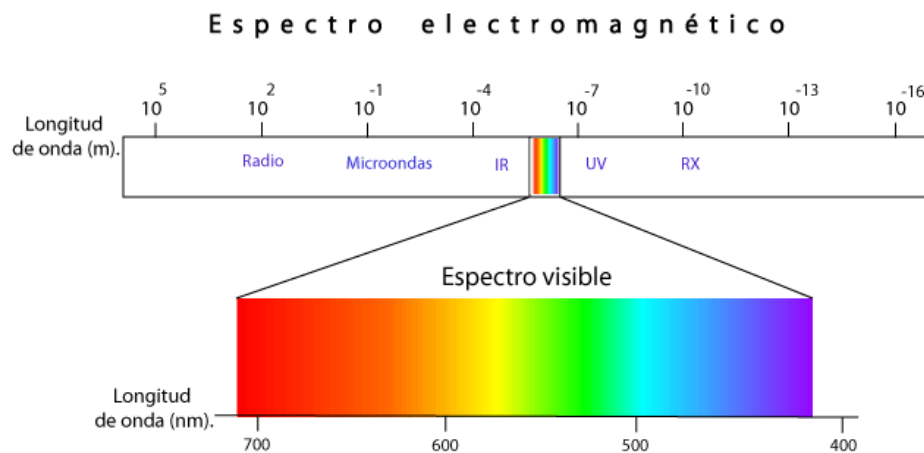


Figura N° 18: Espectro Electromagnético

Fuente: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>

Para un mejor desempeño de la cámara, se dota a los drones de bandas electromagnéticas, las principales son:

- Espectro visible (VIS)
- Espectro cercano infrarrojo (NIR) o “borde rojo”
- Espectro infrarrojo (IR):

Espectro visible (VIS): La cámara con sensor de luz visible es capaz de detectar los canales rojo, verde y azul de la luz visible que se mezclan para producir la amplia gama de colores que experimentamos como seres humanos. Las imágenes visibles son ideales para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la agricultura, la arqueología, la construcción, la topografía, la minería, la

silvicultura, mantenimiento, marino / marítimo y vigilancia. Es la columna vertebral de la mayoría de las aplicaciones UAV y es bastante fácil de procesar en grandes mapas y mosaicos con los programas generales como Agisoft PhotoScan y Pix4D (Ver Figura N° 19).



Figura N° 19: Fotografía que muestra el espectro visible

Fuente: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>

Espectro cercano infrarrojo (NIR) o “borde rojo” En esta banda se observarán las características de la vegetación. El infrarrojo cercano es considerado esa parte del espectro ubicada entre región visible y la región infrarroja. Con el fin de extraer y obtener los índices de vegetación se necesita una cámara especialmente diseñada, por ejemplo, las cámaras Tetracam. Las imágenes de infrarrojo cercano son ideales para aplicaciones tales como la agricultura, la silvicultura y la arqueología. (Ver Figura N° 20).

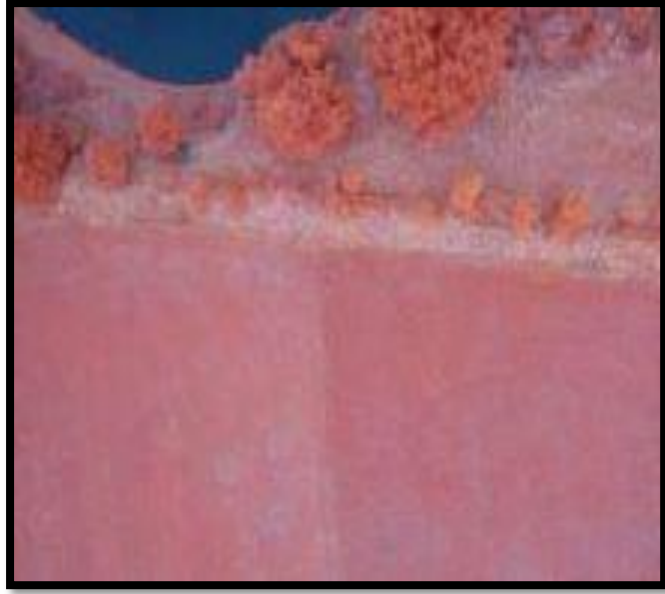


Figura N° 20: Fotografía que muestra el espectro cercano infrarrojo

Fuente: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>

Espectro infrarrojo (IR): Cuanto mayor sea la temperatura más se mueven estas moléculas (espectro infrarrojo), por lo tanto, la producción y la emisión de radiación infrarroja también se incrementa. Los sensores convierten esta energía infrarroja en señales eléctricas que luego se utilizan para producir una imagen térmica. Las imágenes térmicas utilizan una escala de temperatura de color visible para representar las diferentes temperaturas (Ver Figura N° 21).

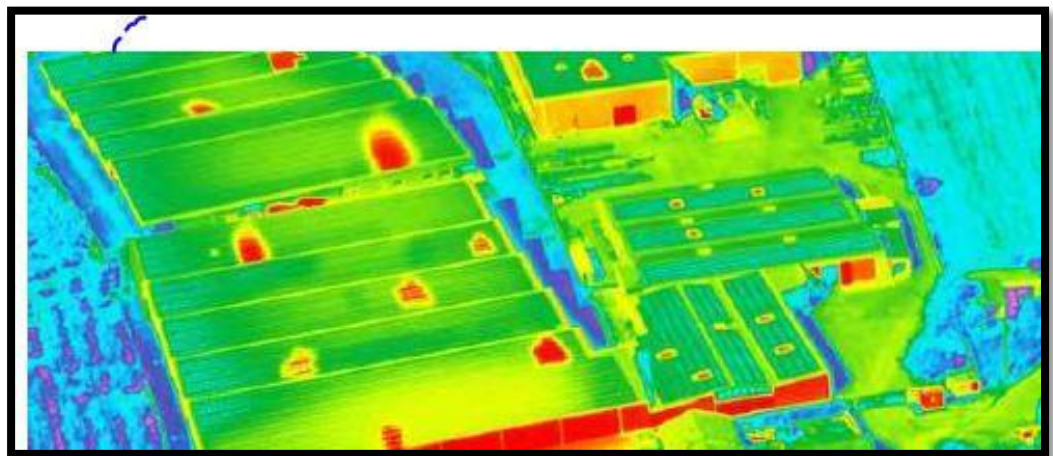


Figura N° 21: Fotografía que muestra el espectro infrarrojo

Fuente: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>

Para una elección de la cámara es importante tener en cuenta la calidad de la fotografía (resolución). Una cámara debe tener un mínimo de distorsión para obtener buenos resultados fotogramétricos, y por lo tanto contar con una excelente óptica como consecuencia de ello, es por esto que una cámara de alta calidad con una lente fija es la más óptima.

La distancia focal indica el ángulo de visión de una fotografía (Ver figura N° 22), es decir, cuando se capturará de la escena, y el aumento, que tan grande serán los elementos individuales. Mientras más larga sea la distancia focal, más estrecho será el ángulo de visión y mayor será el aumento. Mientras más corta sea la distancia focal, más ancho será el ángulo de visión y menor será el aumento (Zafra, Y. 2018).

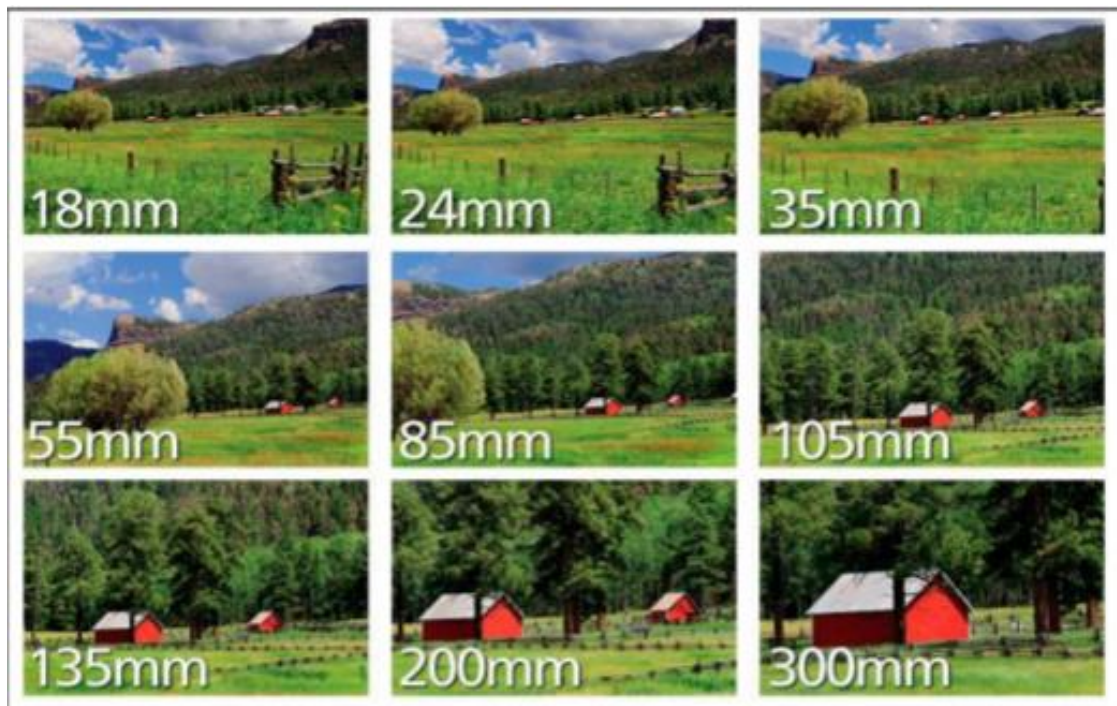


Figura N° 22: Enfoque de la cámara vs. Distancia focal

Fuente: Zafra, Y. (2018)

Cuando se obtienen fotografías generadas a través de una cámara instalada en un dron con GPS, y sí la imagen se encuentra referenciada geoespacialmente, al procesarla y generar un mosaico de imágenes se pueden obtener diversas resoluciones en el terreno, que van desde algunos milímetros hasta 20 cm,

dependiendo del tipo de cámara, formato, tipo de lentes, altura de vuelo, focal, tamaño del pixel.

El número de fotos estimadas resultantes es importante, a continuación, se indican algunos tamaños de sensor (Megapíxeles), la tarjeta de memoria (Gigabyte) y el número de fotos estimadas (Ver figura N° 23) cabe señalar que los megapíxeles (MP) de las cámaras digitales miden el tamaño de una imagen y la tecnología y tamaño del sensor define la calidad de la imagen.

Número de fotos estimadas					
	resolución de la cámara				
Tarjeta	12 MP	14 MP	16 MP	20 MP	24 MP
1 GB	227	195	171	137	113
2 GB	455	390	341	273	227
4 GB	910	780	683	546	455
8 GB	1.820	1.560	1.365	1.092	910
16 GB	3.641	3.121	2.731	2.185	1.820
32 GB	7.282	6.242	5.461	4.369	3.641
64 GB	14.564	12.483	10.923	8.738	7.282

Figura N° 23: Tamaño de sensor, numero de fotos y capacidades de tarjetas de memoria.

Fuente: <https://www.decamaras.com/>

En una cámara réflex o compacta, el sensor es la parte más importante. Todas las acciones para tomar una fotografía, persiguen un único objetivo: conducir la luz (la imagen) exterior hacia el sensor de la cámara. El sensor como su nombre lo indica es un elemento “sensible” dentro de la cámara, aquello sobre lo cual se proyecta la luz dibujando una imagen que representa lo que la cámara ve. El sensor de la cámara es un pequeño chip integrado por millones de componentes sensibles a la luz, llamados píxeles. Esos millones de píxeles tienen que estar siempre a oscuras, y tan pronto como se le exponga a la luz ellos la capturan, por eso son sensibles. Gracias a que capturan esa luz, obtenemos la imagen (Vázquez, J. y Backhoff, M. 2017).

2.2.3 Hardware y software

2.2.3.1 Hardware

El Hardware o equipo de cómputo de las estaciones de trabajo, es una computadora que facilita el acceso de los usuarios a los servidores cuenta con una tarjeta de red y está diseñado para situaciones que requieren un alto rendimiento y fiabilidad, donde generalmente se mantienen operativas ante situaciones de gran almacenamiento. En la actualidad se trabaja con el CPU Intel Xeon o AMD Opteron, cuando se puede usar modelos más accesibles de CPU como el Intel Core 2 o Core i5, i7.

Algunos fabricantes y modelos actuales son: La Mac Pro de Apple Inc., DELL Precisión de la fábrica Dell y CELSIUS de la fábrica Fujitsu Siemens (Vázquez, J. y Backhoff, M., 2017).

2.2.3.2 Servidores virtuales

Para alcanzar la eficiencia requerida, el servidor físico dedicado se divide en múltiples servidores virtuales utilizando un software de servidor especial, ya que un servidor físico solo se dedica a una tarea específica. Un centro de datos con servidores físicos consume mayor energía que cuando este se convierte en múltiples servidores virtuales, así la energía se usa de manera más efectiva y cada servidor virtual puede realizar tareas de manera independiente (Eulises, 2020)

En los servidores dedicados virtuales (SDV) es posible instalar sus propias aplicaciones y controlar la configuración de su servidor, representan una alternativa económica comparada con un servidor dedicado (Vasquez y Backhoff, 2017).

2.2.3.3 Medios de Almacenamiento

Unidad de estado sólido o solid state drive (SDD) su función es almacenar datos del ordenador. El SDD realiza lo mismo que el HDD (hard drive disk o disco duro)

La diferencia entre el SDD Y HDD es el funcionamiento:

El HDD almacena los datos en placas de metal las cuales están en constante movimiento y cuando el ordenador desea alguna información el dispositivo usa un componente llamado cabezal para ubicar la posición de la información requerida.

Los SSD nunca se mueven y para guardar información crean bloques y cuando el ordenador requiere del SSD busca la información y la entrega.

Las ventajas de un SSD:

Debido a la eficiencia, el SSD es la actualización más conveniente de hacer a un ordenador para obtener la rapidez necesaria. Puede acelerar el funcionamiento de la computadora de varias maneras.

- El tiempo de inicio del sistema se reducirá
- Al abrir o guardar documentos no se detendrán
- La ejecución de programas será muy rápida
- El proceso de información será más acelerado y efectivo

Las desventajas del SSD:

El principal problema es el precio, el que es mucho más elevado que los HDD. Por ejemplo, si se desea gastar alrededor de 100 euros en un SSD solo se obtendrán unos 240 gigabytes de espacio, y si se desea gastar lo mismo por un HDD se podría conseguir algún modelo de hasta 3 o 4 terabytes. La diferencia entre el espacio de ambos es enorme. (Gonzales, G.,2015)

2.2.3.4 Tarjeta gráfica

La tarjeta gráfica sirve de apoyo para el CPU (central processing unit o Unidad central de proceso) para acelerar el procesamiento de imágenes. Las tarjetas gráficas de la marca NVIDIA llevan, desde el 2006, núcleos CUDA (Arquitectura de dispositivos unificada por computadora) que es un mini procesador encargado de la programación de tareas

2.2.3.5 Software

2.2.3.5.1 Software del plan de vuelo (Campo)

En cuanto la finalidad del Software es de manejar del dron (plan de vuelo) y la captura de las fotografías:

- DJI Pilot: Señala rutas de vuelo y se visualiza la intensidad de la señal (Ver figura N° 24), porcentaje de batería, número de satélites GPS, selección de toma de fotos o video, ajuste de parámetros de fotografías. Función de regreso al punto de origen (Vazquez, J., Backhoff, M., 2017).



Figura N° 24: Pantalla del software DJI Pilot

Fuente: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>

- Skycatch Commander: Genera la ruta óptima para la toma de fotografías y visualiza las nubes de puntos generadas en alta resolución (Ver Figura N° 25). También nos proporciona curvas de nivel (Vazquez, J., Backhoff, M., 2017).

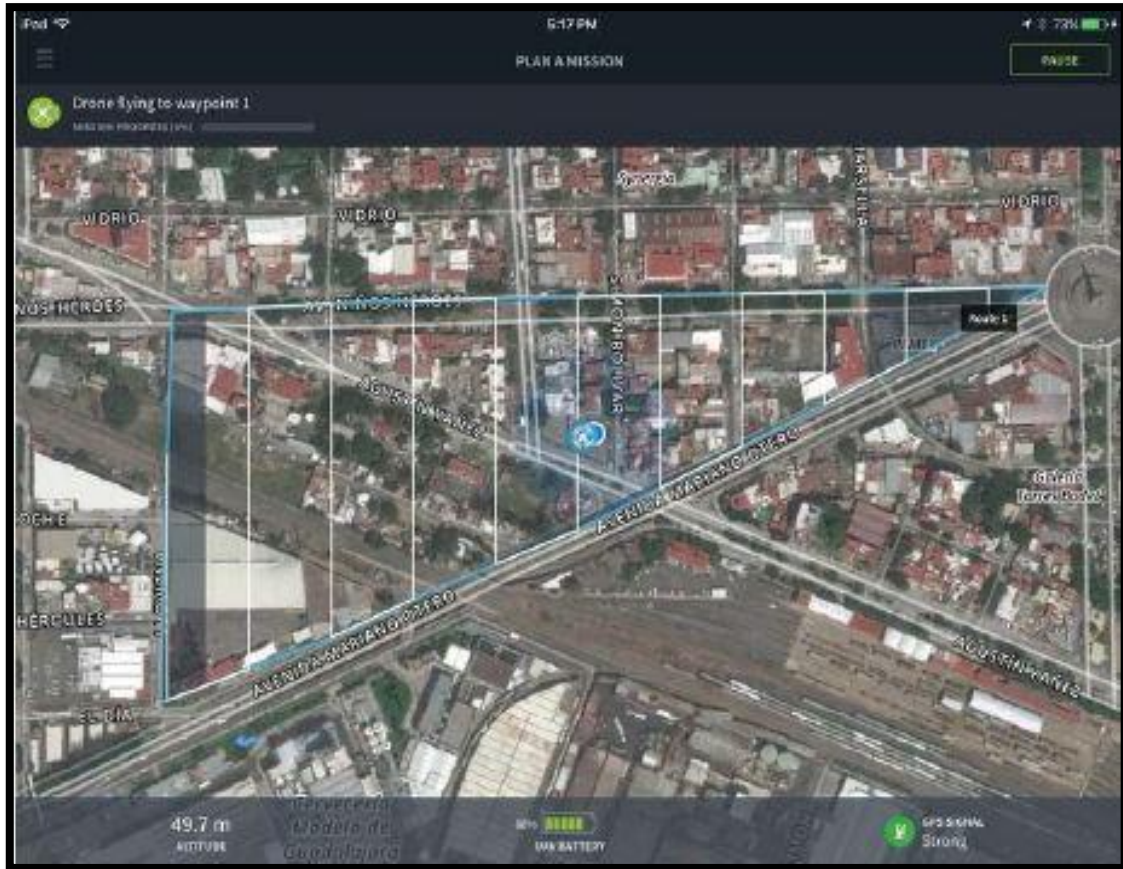


Figura N° 25: Pantalla del software SkyCatcher Commander.

Fuente: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>

- **DJI GO**

Cuenta con distintos modos de vuelo tales como Anclaje al Punto de Inicio, Punto de Interés y Trayectoria (Ver Figura N° 26). Sincroniza automáticamente los registros de vuelo. Descarga la información conforme la va registrando. En la pantalla de observa la señal GPS y la de conexión (Vazquez, J., Backhoff, M., 2017).



Figura N° 26: Pantalla del software DJI Go.

Fuente: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>

- DJI Groud Station Pro

Esta aplicación va orientada a la planificación y el vuelo autónomo de las aeronaves de la propia marca y también compatible con modelos más actuales (Phantom, inspire, Mavic, Matrice). Es recomendable usarlo con un dron de la misma marca, el inconveniente es que solo está disponible para iPad.

Una de sus funcionalidades es la denominada valla virtual que, esta impide sobrevolar con el dron por zonas que hayamos especificado previamente. Por ejemplo: zonas de espacio aéreo restringido, zonas sensibles o áreas no planificadas.

Definir una trayectoria de vuelo es trivial a partir de indicaciones como la velocidad y altura del aparato, solape entre imágenes y el área que es necesario cubrir, con todo ello se tiene la seguridad de poder generar ortofotos de calidad (Ver figura N° 27).

De momento no es posible definir vuelos circulares a diferentes alturas por ello o se puede realizar reconstrucciones en 3D de alta calidad (Aerial insights, 2017).

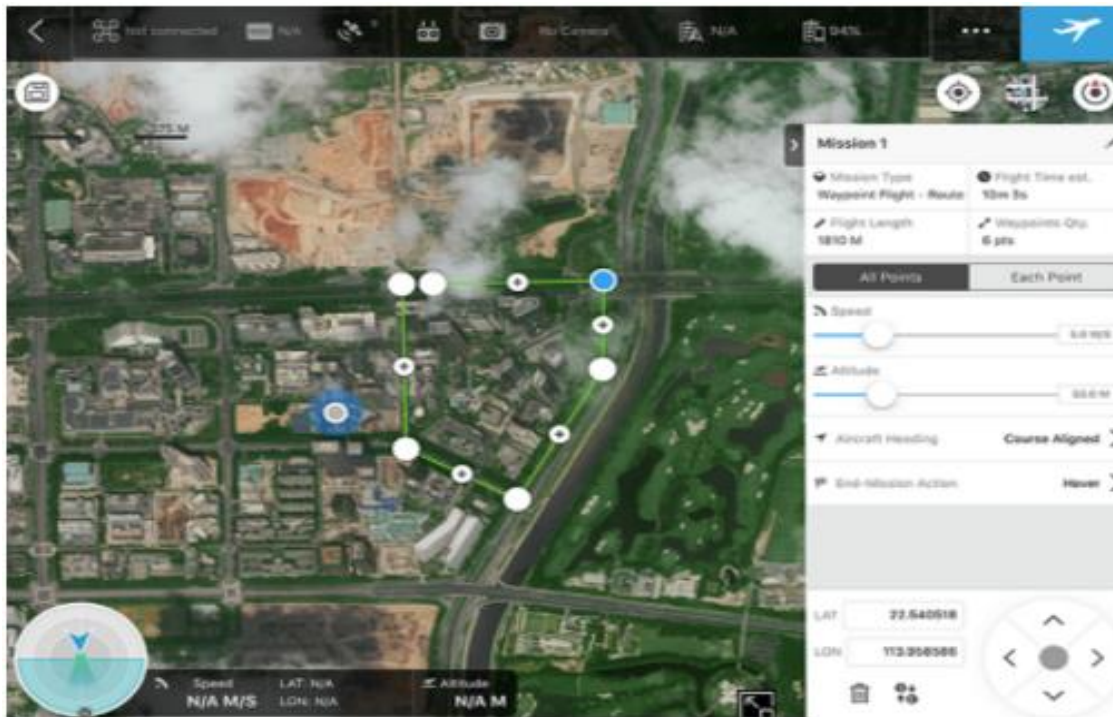


Figura N° 27: Pantalla del software DJI Groud Station Pro

Fuente: Aerial insights, 2017

- Pix4d Capture

Es una de las aplicaciones más conocidas para realizar el plan de vuelo. Está disponible para Android y iOS. Compatible para la mayoría de drones profesionales más comercializados (Phantom, inspire, Mavic). Tiene una integración perfecta con los diferentes sistemas de software del fabricante. El funcionamiento de esta aplicación es sencillo, una vez que se tiene la zona a mapear, se procede a abrir la aplicación y seleccionar el área a sobrevolar. La manera de configurarlo con respecto a los aspectos relativos a el vuelo es sencilla: velocidad, ángulo de inclinación de la cámara o el porcentaje de solape ente imágenes (Ver figura N° 28). Una vez definido y calculadas las rutas, la aplicación se comunica con el dron y este realizar el vuelo de forma autónoma. Esta aplicación permite definir vuelos en forma de cuadrícula, doble cuadrícula (solapando dos cuadrículas perpendiculares), vuelos circulares, incluso unir varios de los anteriores dentro de un único vuelo (Aerial insights, 2017).



Figura N° 28: Pantalla del software Pix4D Capture

Fuente: Aerial insights, 2017

- Litchi

Disponible para Android y iOS. Compatible para la mayoría de drones de la marca DJI (Phantom, inspire, Mavic). Es una aplicación de pago, en las dos aplicaciones mencionadas. Tiene el modo de vuelo “*orbit*” con el que es posible hacer que el RPA vuele de forma autónoma en forma de círculo. Solo se precisará algunos parámetros con la altura de vuelo, el radio o la velocidad de rotación (Ver figura N° 29), mayormente usado para modelado 3D (Aerial insights, 2017).



Figura N° 29: Pantalla del software Litchi

Fuente: Aerial insights, 2017

●Mission Planner

Una aplicación muy completa con la que se puede configurar infinidad de parámetros de nuestro drone, disponible para Windows. Se debe planear el vuelo desde el ordenador y seguidamente al drone. Para realizar la toma de fotografías de las reconstrucciones en 3D es la función del vuelo autónomo en círculo el procedimiento es seleccionar el radio del círculo y el número de *waypoints* y el dron volara de manera autónoma. Su ventaja es poder cambiar los parámetros de la controladora de vuelo (Ver figura N° 30).

Para establecer la conexión entre RPAS y la aplicación Mission Planner existen varios métodos de comunicación como:

Configurar el Hardware físico y controles de dispositivo de Windows

Conectar el PC y el piloto automático mediante cables USB, vía *bluetooth*, conexiones IP, entre otras (Aerial insights, 2017).



Figura N° 30: Pantalla del software Mission Planner.

Fuente: Aerial insights, 2017

2.2.3.5.2 Software para el procesamiento de data (Gabinete)

La finalidad del procesamiento en gabinete (con fotografías obtenidas en campo mediante el vuelo del dron) es generar los modelos digitales de elevación, modelos digitales de superficie, ortofotos.

Por ello explicará y definirá estos productos que nos permiten realizar las medidas lineales, volumétricas, modelamiento 3D para el posterior entendimiento en el desarrollo de la investigación:

Para entender acerca del DEM (*Digital elevation Model* o modelo digital de elevación) podemos observar un modelo tipo raster con de celdas o pixeles (Ver figura N° 31) donde cada una de ellas contienen información de la elevación sobre el nivel del mar.

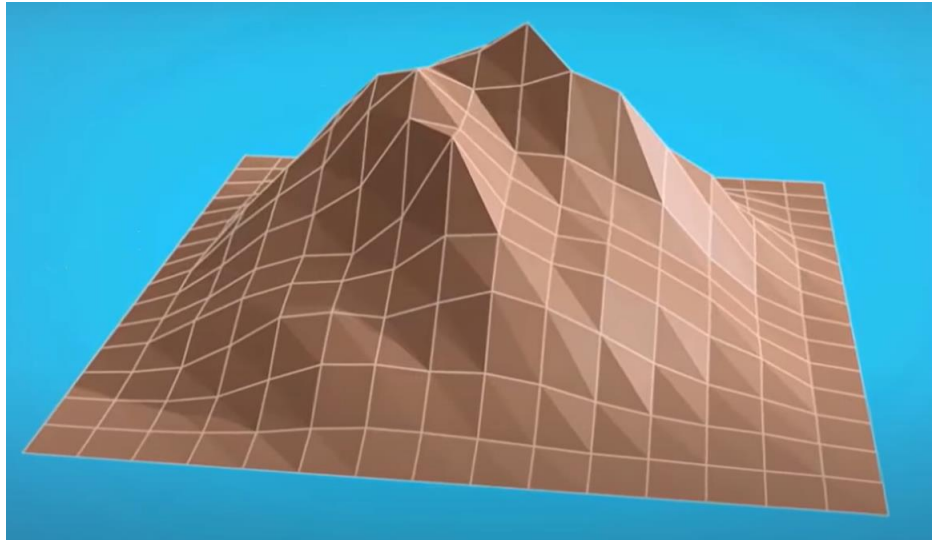


Figura N° 31:Modelo de elevación

Fuente: SIG Arteaga (2017) Modelos digitales de elevación (DEM/TIN/DSM)

Esta información se obtiene a través de imágenes radar, imágenes satelitales, vuelos fotogramétricos, el cual puede estar constituido por postes y exactitud (Ver figura N° 32).

Es la distancia que existe entre extremo y extremo de un pixel. Mientras más corta sea la distancia entre los extremos, la precisión y la exactitud aumentan.



Figura N° 32: Diferencia entre la proporción de pixel

Fuente: SIG Arteaga (2017) Modelos digitales de elevación (DEM/TIN/DSM)

Por lo tanto, mientras más pequeño sea el pixel habrá más precisión, ello se puede evidenciar la imagen la calidad del que tiene distancia entre postes de 5 m versus el de 1m (Ver figura N° 33). Donde se observa que a menor distancia entre postes se puede observar con mayor calidad el mismo relieve.



Figura N° 33: Diferencia entre la separación de los postes a 5m y 1m

Fuente: SIG Arteaga (2017) Modelos digitales de elevación (DEM/TIN/DSM)

Existen 4 tipos de elevaciones de elevación quienes constan de diferentes características:

- Modelos Digitales de superficie (DSM):

Permite observar todos los elementos que están sobre el suelo (Ver figura N° 34), puede ser útil para determinar si existe elementos que interfieran por ejemplo en las telecomunicaciones entre antena receptora y antena repetidora.

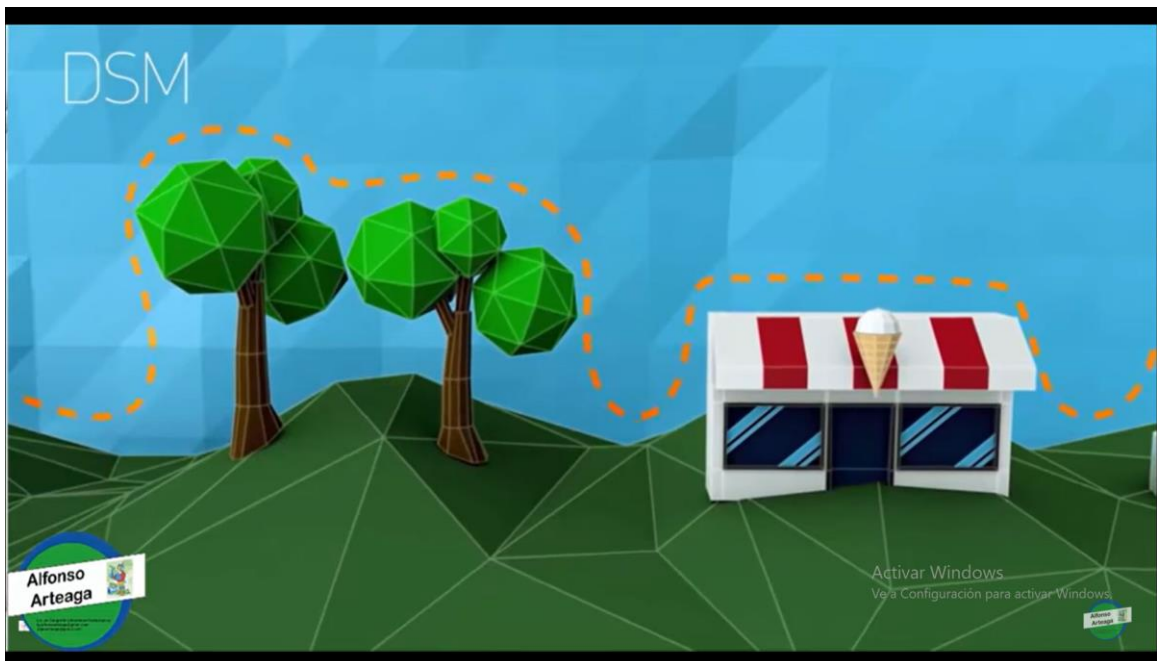


Figura N° 34: Modelos digitales de superficie

Fuente: SIG Arteaga (2017) Modelos digitales de elevación (DEM/TIN/DSM)

- Modelo Digital de terreno (DTM):

Es el relieve que tiene el terreno, cuenta con una triangulación que se forma el terreno (Ver figura N° 35) y servirá para la toma de decisiones sobre todo en cuestiones de análisis de terreno. Utilizado mayormente en trabajos forestales y ciudades.

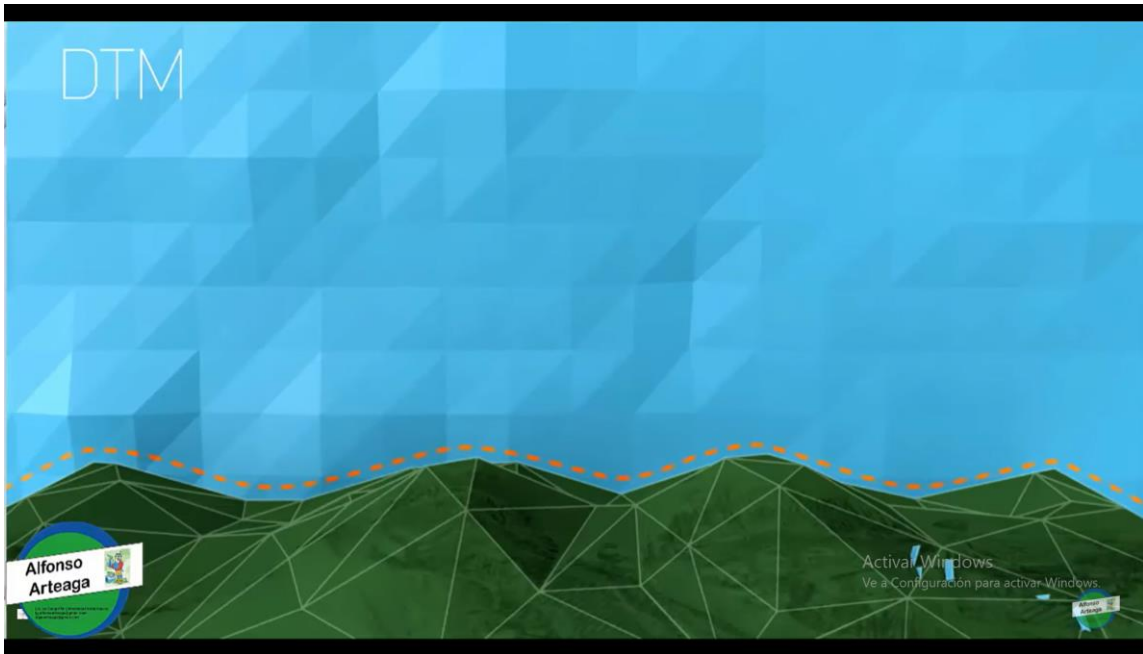


Figura N° 35: Modelos digitales del terreno

Fuente: SIG Arteaga (2017) Modelos digitales de elevación (DEM/TIN/DSM)

- Contornos o curvas de nivel:

Tendrán una equidistancia igual de 5 centímetros (cm), 10 centímetros (cm) o 20 centímetros (cm) nos servirá para saber cómo está conformado el terreno (Ver figura N° 36).

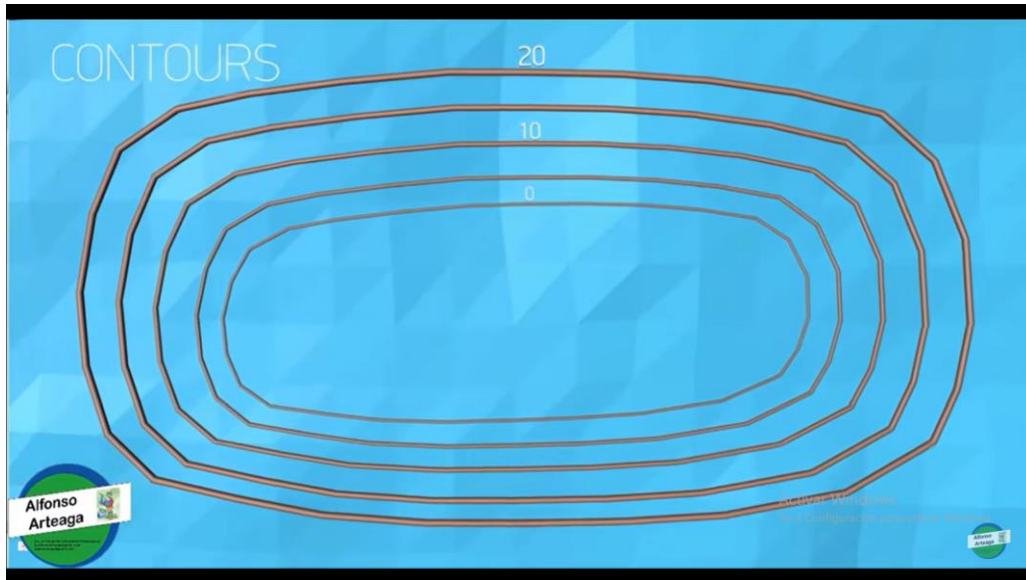


Figura N° 36: Curvas de nivel

Fuente: SIG Arteaga (2017) Modelos digitales de elevación (DEM/TIN/DSM)

- Nube de puntos o datos LIDAR:

Son un tipo de escáner de muy alta precisión que nos genera millones de puntos (Ver figura N° 37), la distancia entre puntos puede ser de menor a los 5 centímetros (cm) esto dependerá del tipo de sensor se utilice en el levantamiento (SIG Arteaga, 2017).

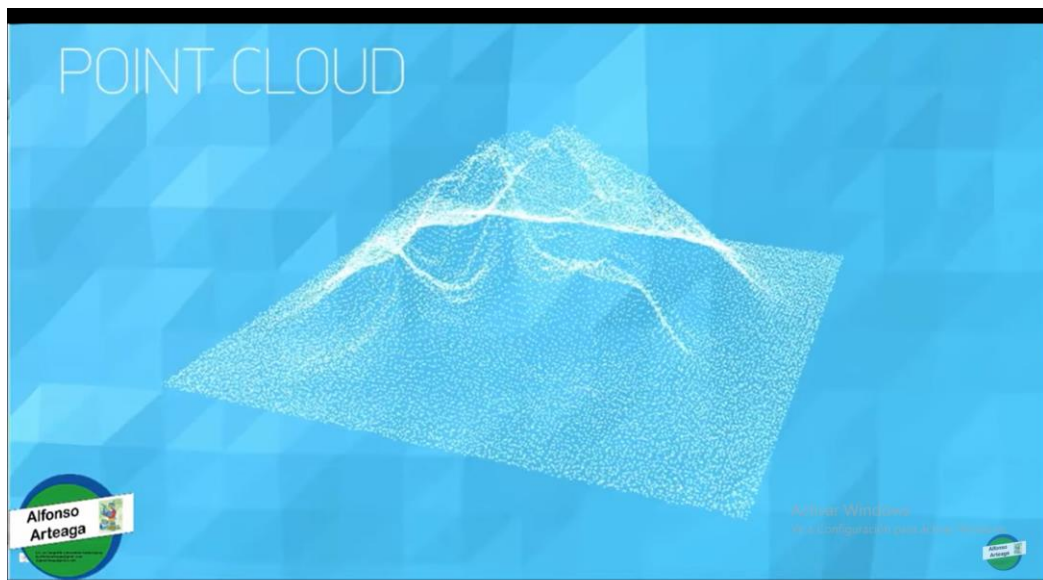


Figura N° 37: Nube de puntos del relieve

Fuente: SIG Arteaga (2017) Modelos digitales de elevación (DEM/TIN/DSM)

En la actualidad existen diversos tipos de softwares para realizar el procesamiento de los datos (fotografías) o proceso fotogramétrico para generar la ortofoto y modelos digitales de elevación. Las aplicaciones de mayor uso las mostramos a continuación:

- Pix 4D mapper

El software pix4D es un software que permite realizar el proceso fotogramétrico de una serie de imágenes, con el fin de obtener una serie de productos cartográficos los cuales nos permiten realizar diferentes tipos de mediciones lineales y volumétricas con alta precisión. La máxima aportación de este software es la gran capacidad de absorción de datos e interpretarlos simultáneamente para, completar un ortomosaico de altísima resolución y modelos digitales de elevaciones con una precisión muchísimo más que admisible para la obtención de cartografía que es, uno de los aspectos que más nos interesan en este manual (Ver figura N° 38). Además, nos permite obtener los siguientes resultados.

- Triangulación fotogramétrica.
- Construcción de una nube densa de puntos.
- Modelos digitales de elevación (MDE).
- Exportación ortomosaica georreferenciada.
- Modelos digitales de terreno (MDT).
- Mediciones volumétricas y lineales (Zafra, Y., 2018).



Figura N° 38: Pantalla del software Pix 4D mapper

Fuente: Aerial insights, 2017

- DroneDeploy

Este planificador se caracteriza por ser intuitivo y sencillo de utilizar. Disponible para Android y iOS y compatible para la mayoría de los drones de la marca DJI.

La planificación de vuelo es sencilla similar al software Pix4d. En primer lugar, se selecciona el área a sobrevolar y luego se elige los diferentes parámetros como altura de vuelo (Ver figura N° 39). Posteriormente la aplicación realizara un *checklist* del buen funcionamiento y el drone comenzara el vuelo de forma autónoma.

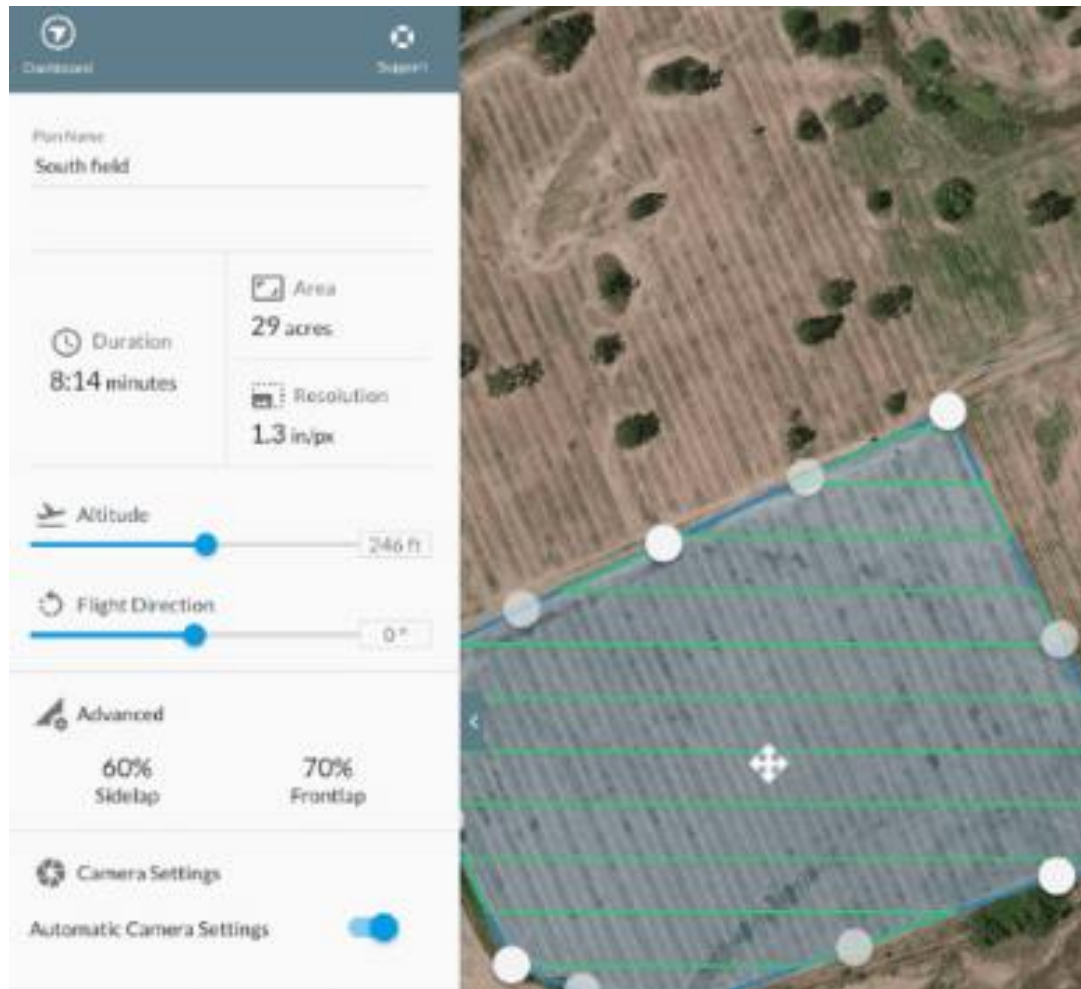


Figura N° 39: Pantalla del software DroneDeploy

Fuente: Aerial insights, 2017

- UGCS

Compatible para la mayoría de drones. Es una app de escritorio disponible para Windows. Con este software se tiene que planificas las misiones desde nuestro ordenador. Asimismo, tiene gran cantidad de configuraciones y herramientas.

Soporta misiones con varios vuelos y múltiples cambios de batería, telemetría, control del dron mediante teclado, control de múltiples drones simultáneamente (Ver figura N° 40). Este software que permite importar perfiles de terreno de forma que sean tenidos en cuenta en la planificación de la misión.

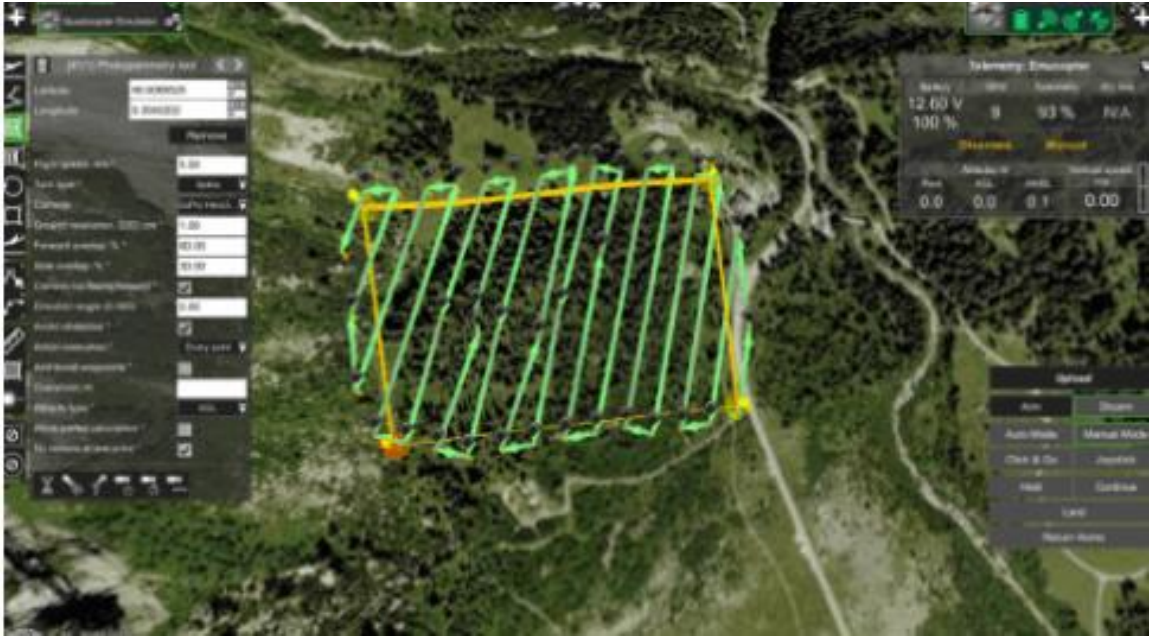


Figura N° 40: Pantalla del software UGCS

Fuente: Aerial insights, 2017

- Agisoft Metashape

El software Agisoft Photoscan es un programa autónomo que permite realizar el proceso fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D. Es muy utilizado en aplicaciones SIG, documentación de patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas (Ver figura N° 41). Gracias a estos productos es posible realizar diferentes tipos de análisis del terreno, generar modelamientos y como se mencionaba anteriormente realizar medidas lineales y volumétricas a una gran precisión. Este programa es muy utilizado actualmente por su facilidad de manejo y por los buenos resultados que permite obtener, así como su diversidad de productos que ofrece:

- Triangulación fotogramétrica.
- Construcción de una nube densa de puntos.
- Modelos digitales de elevación (MDE)
- Exportación ortomosaica georreferenciada.
- Modelos digitales de terreno (MDT), (Zafra, Y., 2018).

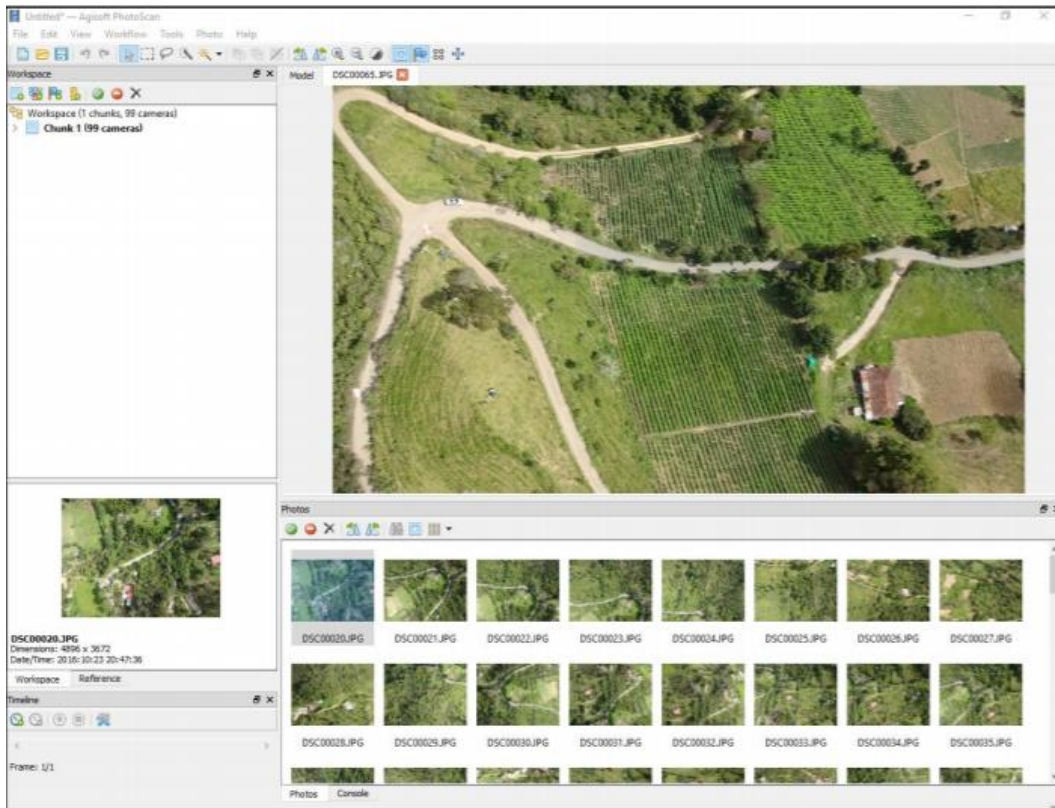


Figura N° 41: Pantalla del Agisoft Metashape

Fuente: Zafra, Y., 2018

2.2.4 Fotogrametría

La palabra fotogrametría etimológicamente proviene del griego "*photos*", luz; "*gramma*", escribir; "*metrón*", medir. Tiene como significado "la medida del escrito por la luz". La sociedad americana de fotogrametría y teledetección (ASPRS) describe qué:

"La fotogrametría es la ciencia, tecnología y arte de obtener información fiel acerca de objetos físicos y su entorno a través de procesos de registro medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante entre otros fenómenos".

Se entiende que, en un principio, ambas interpretaciones se basaban en analizar fotografías y que, con el tiempo, se ha abierto camino a otro tipo de sensores, como por ejemplo las imágenes digitales, laser, acústica, radar, etc. A pesar algunas contradicciones, los estudios concuerdan en que la fotografía es la principal fuente de información en sus dos tipos de versiones (digital; imagen y analógica;

fotografía). La fotogrametría, en su análisis, tiene dos ámbitos diferentes, cuantitativo y cualitativo.

El estudio cuantitativo viene siendo encargada por la fotogrametría métrica en dónde se hace mención al " como es", "dónde está" y "cuanto mide los objetos que muestra la fotografía". Este enfoque se basa en la adquisición de información métrica de las formas generadas a partir de medidas concisas en las fotografías. Los resultados en este campo de la fotogrametría son: Ortomosaicos, Modelos Digitales del Terreno (MDT), etc. Frecuentemente las fotografías se hacen de manera aérea sin embargo también es posible usar unidades móviles y satelitales. La parte cualitativa se responsabiliza la fotogrametría interpretativa y hace mención al "que es lo que muestran en la fotografía". Procura examinar e identificar los objetos aparecidos en la fotografía (pancromática, multiespectral o infrarroja), por medio de un estudio basado en indicios y pericia del operador. En este sentido se estaría hablando de la "fotointerpretación".

Cuando el análisis se desarrolla con apoyo de aplicaciones informáticas, se trata de "Teledetección".

La fotogrametría según la ubicación del sistema de captura de datos, puede ser aérea si el sensor va equipado en una aeronave (sensor aerotransportado). Principalmente es esta la aplicación más utilizada en el campo de la fotogrametría en dónde el propósito es la generación de mapas y planos topográficos.

Cuando el sensor se ubica en un vehículo fijo en el terreno se le denomina fotogrametría terrestre no obstante el objetivo sigue siendo el mismo.

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

2.2.5 Métodos de recopilación de datos de inventario de carreteras existentes

A lo largo de la historia la detección de fallas superficiales en carreteras tenido una variedad de alternativas para el desarrollo de inventarios viales (Ver tabla N° 6), de esta manera la tecnología en este rubro fue variando constantemente y posteriormente fueron combinando tecnología para la obtención oportuna de resultados.

Tabla N° 6: Métodos de recopilación de datos de inventario de carreteras existentes

	Inventario de Campo	Registro de foto y video	Sistema de mapeo integral GPS / GIS	Fotografía aérea/satelit al	Escaneo de laser terrestre	LIDAR Mobil	LIDAR aerotransportado
Descripción	Utiliza equipos GPS y ópticas convencional para recopilar información	Conducir un vehículo a lo largo de la carretera mientras se registran automáticamente fotos/videos para examinarlas	Uso de un registrador de datos de campo GPS/GIS integrado, para registrar información	Analizar imágenes de alta resolución tomadas de aeronaves o satélite para extraer e identificar información de inventario de autopistas.	Uso de información de puntos de precisión 3D directa adquirida de escáneres láser 3D estacionarios para extraer datos de inventarios de carreteras.	Conducir un vehículo instrumentad o mientras se recopila información directa de puntos de precisión en 3D utilizando sistemas LIDAR terrestres o sistemas de fotogrametría	Uso de información directa de puntos de precisión 3D adquirida de sistemas LIDAR basados en aviones para derivar datos de inventario de carreteras.

	Inventario de Campo	Registro de foto y video	Sistema de mapeo integral GPS / GIS	Fotografía aérea/satelit al	Escaneo de laser terrestre	LIDAR Mobil	LIDAR aerotranspo rtado
Ventajas	.Bajo costo inicial .Medianamente preciso .Bajo esfuerzo de obtención de datos	.Menos exposición al tráfico .Tiempo de exposición corto	.Bajo costo inicial .Bajo esfuerzo de reducción de datos .Transferencia de datos de inventario a oficina(conexión inalámbrica)	Eliminación de trabajo de campo y optimización de tiempo. No hay interrupción al tráfico. Compatibilidad de imágenes con GPS	.Opera en el día y noche .Alta precisión de datos y recopilación .Compatible en múltiples programas.	Al recolectar grandes cantidades de data en poco tiempo la seguridad del equipo es superior	.Sin exposición al tráfico .Corto tiempo de recolección de datos en campo .Optima resolución de imágenes.
Desventajas	.Exposición al tráfico .Tiempo de recolección de datos	. Incapacidad para medir las dimensiones . Necesidad de reducción de datos	. Exposición de la tripulación al tráfico . Tiempo de recolección prolongado en el campo . Problemas de interrupción del GPS	. Dificultad de identificación de características viales (señales, semáforos, fallas,etc.)	. Largo tiempo de recolección de datos en campo. Alto costo inicial. Largo tiempo de extracción de datos	. Equipos costosos . Tiempo prolongado de extracción de datos .Gran conjunto de data	. (#) Alto costo inicial .Gran tamaño de conjunto de datos .Tiempo prolongado de procesamiento de datos

Fuente : Jalayer, M. et al., 2014

2.3 Definición de términos básicos

- **Carga útil:**

Objeto transportado por la aeronave no tripulada dónde se tendrá en cuenta el límite de carga que pueda tener esta aeronave para el correcto funcionamiento y operación de vuelo.

- **Dron:**

Es un vehículo aéreo capaz de transportar objetos definidos por el usuario, a este objeto se le denomina carga de pago la cual tiene diferentes usos desde el transporte hasta la aplicación en ingeniería.

- **Enlace de datos:**

Es un sistema de transmisión que permite la interacción entre el GCS y el piloto/operador. Es usado para transmitir los planes de la misión antes del despegue. Este enlace también comunica comandos de monitoreo de vuelo en tiempo real.

- **Estación de control terrestre (GCS):**

Sistema encargado del control y planificación de vehículos no tripulados. Generalmente el plan de misión se hace previo al vuelo con la finalidad de hacerlo autónomo y poder monitorear su desempeño y recorrido en un mapa digital. El hardware de este sistema generalmente son computadoras, dispositivos móviles y/o control remoto por radio.

- **Fotogrametría:**

“Técnica mediante la cual podemos hallar las propiedades geométricas y la posición espacial mediante la captura de imágenes topográficas” (Parra, R., 2019, p.53).

- **Hardware:**

Hardware es la agrupación de componentes físicos los cuales conforman el equipo de cómputo.

- **Inventario Vial:**

Es un sistema el cual indica una información detallada de las rutas contenidas en el Sistema Nacional de Carreteras, las que son supervisadas y administradas por organismos estatales, municipios a través del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y Direcciones de tránsito de cada localidad.

- **Modelo Digital de Superficie (MDS):**

Este modelo nos indica las elevaciones de toda el área de estudio si en caso no se pueda identificar un bache o hueco en la ortofoto podemos determinar una sección transversal a los huecos y podemos determinar según su profundidad el nivel de severidad leve medio o severo. Comparado con la manera tradicional la brigada tiene que llevar instrumentos que hacen al desarrollo del levantamiento propio muy tedioso. Con esta información incluso se podría hacer una evaluación anualmente con la finalidad de hacer comparaciones en diferentes periodos de tiempo.

- **Ortofoto:**

Compuesto por un conjunto de imágenes de alta precisión en una sola foto al acercarse un determinado punto nos permitirá identificar las distintas fallas de la carretera además como están georreferenciadas se puede determinar longitud área etcétera. Con esta información podemos determinar el presupuesto para poder hacer inicio a la conservación de carreteras.

- **Ortofotografía:**

“Es una exposición fotográfica de un lugar de la superficie terrestre, en la que todas las partes presentan la misma escala, sin errores ni deformaciones, con el mismo valor de un plano cartográfico” (Parra, R., 2019, p.53).

- **Piloto/Operador:**

Encargados de la supervisión de la integridad y eficiencia operacional de la aeronave no tripulada.

- **Sensores:**

Elemento sensible que viene en el interior de la cámara. La función de los sensores es captar los rayos de luz para dibujar la imagen, es decir, lo que se observa en la cámara.

- **Sistema de navegación:**

Permite monitorear la posición de la aeronave (así como velocidad, altitud) en tiempo real. Este sistema de navegación se utiliza cuando se ha programado un vuelo preliminar y cuando se activa para regresar al punto de vuelo inicial ante un imprevisto. Además, el resultado de datos recopilados en campo utiliza un sistema

internacional geográfico (SIG) para georreferenciar los datos y levantar errores. Esta operación se hace mediante rutinas de post procesamiento.

- Software:

Es el programa donde podemos encontrar diversas características (cantidad de batería, señal de transmisión de video, señal de transmisión con radio control) todas con el fin de lograr la funcionabilidad del dron.

- Telemetría:

Permite la medición remota de magnitudes físicas o químicas para el posterior envío de la información hacia el operador del sistema. dicha información la cual es enviada al laboratorio es un sistema de telemetría que se realiza típicamente medio de comunicación inalámbrica

CAPITULO III: SISTEMA DE HIPOTESIS

3.1 Hipótesis

Aplicando el drone Phantom 4 Pro, sensor CMOS, hardware Lenovo y software Agisoft Metashape como sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs), reduce en un 70 % el tiempo de levantamiento de inventario vial superficial en carretas de bajo volumen.

3.1.1 Hipótesis específicas

- a)Aplicando el drone Phantom 4 Pro se reduce en un 72 % el tiempo de recorrido para el levantamiento de inventario vial superficial en carretas de bajo volumen.
- b)Aplicando el sensor CMOS en el RPAS se reduce en un 5 % el tiempo de captura de imágenes para el levantamiento de inventario vial superficial en carretas de bajo volumen.
- c)Aplicando el hardware Lenovo Legion Y7000 y software Agisoft Metashape se reduce en un 30% el tiempo de procesamiento de datos para el levantamiento de inventario vial superficial en carretas de bajo volumen.

3.2 Variables

3.2.1 Definición conceptual de las variables

➤Levantamiento de inventario vial:

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones es un conjunto de documentos donde muestra información detallada, de los datos obtenidos en campo, de las rutas contenidas en el sistema nacional de carreteras.

➤Sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS):

Es un sistema de aeronaves que pueden ser operadas desde una estación remota, o pueden ser programados para realizar un vuelo automático para una tarea específica.

➤Drone:

Se describe al drone como una aeronave que puede ser manejada remotamente o programada para realizar el vuelo automático. Por su arquitectura se

clasifican en multirrotores (tricoptero, cuadricoptero, hexacoptero) y de ala fija las que son semejantes a la forma de un avión. Estos vehículos aéreos transportan una carga como los sensores, cámaras.

➤ Sensores:

Son los sensores los que capturan la información que van a ser procesadas para realizar los análisis y determinar las condiciones o medidas requeridas. Se usan para diferentes tipos de trabajos como topografía, fotogrametría, modelos 3D.

➤ Hardware:

El hardware es el equipo de cómputo elegido para el trabajo a realizar. Este debe ser un equipo robusto debido a almacenara gran cantidad de datos. Sus componentes serán el tipo de procesador, tarjeta de video, memoria RAM, sistema operativo.

➤ Software:

Son programas utilizados en la fase de trabajo en campo y para el de gabinete donde se necesita el software para el procesado de datos. En la etapa de campo la aplicación que elegimos nos brinda la cantidad de batería del equipo, señal de transmisión del video, señal de transmisión con el radio control, cantidad de satélites que capta en un determinado momento. Y en la etapa de post campo (gabinete) utilizamos la aplicación para el procesamiento de datos.

3.2.2 Operacionalización de las variables

En la tabla describimos la variable dependiente y de los indicadores de la presente investigación (Ver tabla N° 7).

Tabla N° 7: Variable dependiente

Variable de estudio	Definición conceptual	Indicador	Definición de indicadores	Índice
Levantamiento de inventario vial	El levantamiento o se divide en 3 etapas ; trabajo de pre campo, campo y post campo; es un conjunto de documentos donde muestra información detallada, de los datos obtenidos en campo, de las rutas contenidas en el sistema nacional de carreteras.	Tipo de falla	Son deformaciones, erosión, baches, encalaminado, lodazal y cruce de agua	bueno, regular , malo
		Cantidad de fallas	Cuantificación las fallas	
		Severidad de la falla	En qué estado se encuentra la falla	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla describimos la variable dependiente y de los indicadores de la presente investigación (Ver tabla N° 8).

Tabla N° 8: Variable independiente

Variable de estudio	Definición conceptual	Indicador	Definición de indicadores	Índice
Sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS)	Es un sistema controlado a distancia	Tipo de dron	Vehículo capaz de volar y de ser comandado a distancia, sin que se requiera de la participación de un piloto	Costo y tiempo
		Tipo de sensor	Tiene como objetivo ampliar el campo de aplicación de los vehículos aéreos no tripulados y su función es capturar los rayos de luz para proyectar la fotografía	Costo y tiempo
		Tipo de hardware y software	El Hardware o equipo de cómputo es adaptado para procesar grandes cantidades de datos y el Software es el programa instalado para el manejo de dron	Costo y tiempo

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

4.1 Tipo y nivel

Hernández, R. (2014) en su libro Metodología de la Investigación nos explica que una investigación presenta enfoques cuantitativo y cualitativo. El enfoque cuantitativo emplea la recolección de datos para probar hipótesis con principios en la medición numérica y análisis estadístico, con el objetivo de obtener pautas de comportamiento; en el enfoque cualitativo se emplea la recolección de datos para develar nuevas interrogantes en el desarrollo de la investigación. Por todo lo mencionado se concluyó que la investigación realizada tiene un enfoque mixto ya que se tiene datos cuantitativos como el tiempo y también datos cualitativos como los tipos de fallas.

El método de la investigación es descriptivo puesto que se describe las variables de estudio, RPAS y tipos de fallas.

4.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es correlacional, explicativo. Es correlacional porque se busca determinar la relación entre nuestras variables (RPAS y tipos de fallas) y por último es explicativo pues se establecerá las causas del problema de investigación.

4.3 Población y muestra

- Población de estudio

En la presente investigación la población de estudio está determinada por los caminos de bajo volumen Lima Provincias

- Muestra

La muestra de esta investigación será Lima Provincias – Carreteras Vecinales.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección

4.4.1 Tipos de técnica e instrumento

La técnica empleada en esta investigación es de tipo documental ya que la información se obtuvo de fuentes secundarias como libros, artículos científicos y manuales.

Nuestra recolección de datos fue a partir de investigaciones bibliográficas donde desarrollamos nuestras bases teóricas relacionadas con los vehículos aéreos no tripulados y su relación con las carreteras de bajo volumen. Adicionalmente se optó como referencia fuentes locales e internacionales, revistas, papers, artículos científicos, diarios. Con la finalidad de adquirir estudios actualizados y de mayor fiabilidad.

4.4.2 Procedimientos para la recolección de datos

La recolección de datos, principalmente, se obtuvo de bases teóricas y bases aplicativas, puesto que los sistemas de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) son vehículos que se emplearán en campo para una misión determinada.

4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

El procesamiento fue estructurado con cada una de los estudios adquiridos en las investigaciones anteriormente mencionadas.

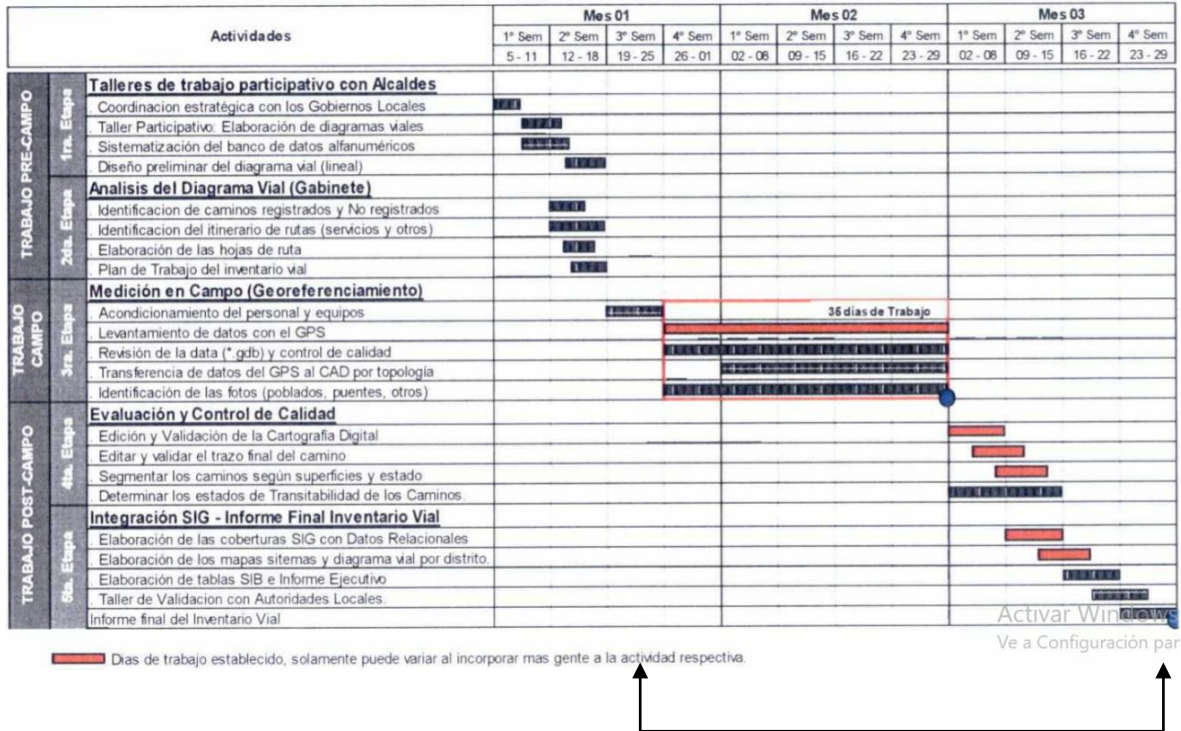
Adicionalmente se analizó la medida en que intervino el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) en los caminos de bajo volumen.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Diagnóstico y situación actual

En base a lo estudiado podemos decir que actualmente en el Perú se realiza el levantamiento de fallas utilizando un modelo tradicional que viene a ser practicado por los reglamentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) " Inventario vial para la planificación vial estratégica de la red vial vecinal o rural de los gobiernos locales" en dónde para la entrega del informe final consta de formatos impresos y digitales acompañados de los archivos técnicos correspondientes. Al equipo se le denomina brigada conformada por un ingeniero vial, Asistente del gobierno local, guía del gobierno local y el chofer normalmente se utiliza como medio de transporte un vehículo doble cabina con doble tracción 4x4 acompañados de un GPS navegador.

Para llevar el orden de las actividades del proceso metodológico para el levantamiento de la información se dividen en etapas: Trabajo de Pre-Campo, Trabajo de campo, Trabajo de Post-campo (Ver figura N° 42). Donde parte de la primera etapa (Pre campo) trata de la gestión, coordinación entre las entidades e inspección de la carretera y en las actividades posteriores a partir de la semana 4 en el Mes 01 empieza la etapa de levantamiento de fallas de manera tradicional. Dado que el tiempo de gestión es el mismo, el sistema de aeronaves pilotadas remotamente intervendría a partir de la misma semana (semana 4). Comenzando con el vuelo del drone para la toma de fotografías hasta el procesamiento de ortofotos con el software elegido.



**INTERVENCION DEL
 SISTEMA DE AERONAVES
 PILOTADAS REMOTAMENTE**

Figura N° 42: Programación de actividades del trabajo

Fuente: MTC, 2015. Inventario vial para la planificación vial estratégica de la red vial vecinal o rural de los gobiernos locales

Según diferentes autores, citados en el desarrollo de la tesis, este proceso demanda una cantidad extensa de tiempo, la ejecución del trabajo se torna engorroso y agotador, además, que a pesar de demandar de una importante cantidad de dinero no muestra los resultados de manera oportuna para una posterior puesta en marcha de obra, sin contar los riesgos al que se expone el recurso humano, se propone analizar e identificar en qué medida el levantamiento de fallas asistido por aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) nos permite hacer un levantamiento de fallas en carreteras de bajo volumen.

La situación actual denota que en el Perú se ha venido incorporando esta tecnología de a pocos y aún no se explora gran parte de atributos que ayudaría no solo a la infraestructura sino a áreas industriales capaces de reactivar la economía peruana. De

acuerdo a las investigaciones las cuales reafirman lo descrito por nosotros acerca de la necesidad de nuevas metodologías para la conservación y mantenimiento de carreteras:

El tránsito, el déficit de señalización y el mal estado de los pavimentos hace que en la actualidad sea necesaria una pronta reparación del pavimento dañado de las vías para otorgar confort en los viajes de los usuarios, por lo que es necesario analizar el comportamiento del pavimento y los daños que en él se presenten para determinar el tratamiento adecuado y evitar gastos innecesarios. Se tuvo en cuenta el uso de la tecnología mediante la utilización de vehículos aéreos no tripulados (VANT'S o drones); donde la inspección visual en campo se llevó a gabinete; esto con el fin de reducir largos tiempos de trabajo en campo e incentivar futuras inspecciones en la red vial del Perú (Fiestas, C. y Merino, F.,2020).

Los actuales métodos de inspección en campo e incluso vehículos para la detección de la calidad de las vías son lentos, requieren mucho personal y son costosos. Por lo tanto, el uso de técnicas modernas de bajo costo que permitan hacer el seguimiento de la condición del pavimento de forma eficiente, optimizando los recursos de los gobiernos municipales es una tarea muy importante. La finalidad de este trabajo es el de aportar un nuevo procedimiento de evaluación para el monitoreo y conservación de las vías urbanas empleando vehículos aéreos no tripulados, optimizando los recursos de los gobiernos municipales para beneficio de los usuarios (Cruz y Gutiérrez, 2019).

El uso de drones para el levantamiento fotogramétrico cada vez es mayor, pero no se tiene en consideración el análisis de los parámetros para realizar un buen levantamiento fotogramétrico, siendo los siguientes parámetros a considerar: la planificación del vuelo, vuelo sobre el terreno, descarga, post proceso de las imágenes y la creación de productos secundarios (Parra R., 2019).

De acuerdo a los estudios obtenidos nacionales e internacionales se obtuvo 2 referencias:

Se realizó el rendimiento de inspección y personal de campo a una zona determinada donde el tramo total de la carretera fue de 280 metros la cual se dividió en 7 unidades de muestra de 40 metros cada una. El tiempo total de la inspección fue de 5 horas y

media iniciando a las 10:00 am y culminando a las 3:30 pm. El rendimiento de la inspección promedio fue de 50 minutos por unidad de muestra debido a la cantidad de fallas que se encontró como también al tránsito de vehículos. El personal de campo que intervino en la inspección estuvo compuesto de 3 personas, las cuales 2 fueron los evaluadores y un asistente para la toma de fotografías.

Con el RPAs se evaluó una carretera de 510 metros (m) en 7 minutos y el personal fue conformado por un (1) operador y un (1) asistente donde se obtuvo imágenes georreferenciadas. (Cruz, 2019).

Otra prueba realizada para capturar los detalles de la superficie de la carretera fue por un drone cuya altitud de vuelo fue 45 metros sobre el suelo. La resolución del suelo fue de 5 mm por pixel. El vehículo aéreo no tripulado viajó a 4 m/s, adquiriendo imágenes de carreteras con un 60% de superposición a lo largo del camino. Se obtuvieron imágenes de la carretera las cuales tenían surcos (Ver figura N° 43). Este tramo de carretera se fotografió cuatro veces en una sola misión, proporcionando información altamente redundante para la evaluación del estado de la carretera, también permite una medición 3D precisa de las características de la superficie de la carretera. Gracias a lo muy alta resolución espacial, los detalles finos de las fallas de la superficie de la carretera se presentan claramente en la imagen, lo que permite una evaluación detallada del estado de la superficie de la carretera (Zhang, 2009).



Figura N° 43: Detalles de la superficie de la carretera

Fuente: Zhang, 2009

Las vías del territorio nacional, requieren de un mantenimiento preventivo, rehabilitación o reconstrucción mayor, esto implica el uso de métodos como técnicas para evaluar el estado actual de estructuras en pavimento, de allí se deriva, la necesidad de investigar que métodos son los mejores desde el tipo técnico y económico para realizar esta evaluación, de acuerdo a cada tipo de proyecto y necesidades que se permitan ser aprovechadas mediante el análisis de aerofotografías

geo-referenciadas mediante nuevas tecnologías representadas por los sensores remotos mediante los drones, como las zonas aledañas a las vías, problemas de desprendimientos de bancada, taludes, inundaciones, zonas propensas a derrumbe e incluir como una inspección más completa de la vía aprovechando el área abarcada por las imágenes y el tiempo de recolección de la información, básicamente una inspección del pavimento y de la vía (Vargas, C., 2019).

Son algunos puntos de vistas de los diferentes autores que comparten el mismo criterio referido a la modernización de los métodos del mantenimiento de carreteras. Estos hallazgos en la literatura nos sirven como referencia en base a lo desarrollado en la presente tesis.

5.1.1 Drones

Hay tres criterios factibles para ejecutar el desarrollo de las inspecciones de infraestructura de transporte para identificar las fallas: métodos tradicionales, semiautónomos y autónomos.

Los métodos tradicionales en detección de fallas suelen realizarse en el lugar de trabajo acompañados de instrumentos mecánicos de dispositivos de medición. Estos instrumentos habitualmente se componen de un odómetro manual, un borde recto y una regla convencional para medir la longitud, profundidad y área de la falla. Dicha labor suele tener un tiempo requerido de 20 a 40 minutos para una brigada con un número adecuado de integrantes brindadas por el manual en el que se trabaja en la localidad. La verdad es que mantener la infraestructura de transportes en aceptables condiciones de funcionamiento es continua y es desafiado por el aumento de los costos de rehabilitación de carreteras, las presiones políticas para aminorar el gasto y el déficit presupuestario.

En el caso de la inspección semiautónoma se caracteriza por estar compuesta mediante un sistema automatizado que reúne datos de socorro que posteriormente un experto lo organiza. Los dispositivos para grabación de imágenes especiales se utilizan para capturar imágenes fijas o vídeos de la carretera y un analista los estudia en busca de algún tipo de fallas en dicha infraestructura. Se conoce que estos tipos de métodos semiautónomos dan como resultado un similar producto,

pero no necesariamente el mismo contenido por métodos tradicionales. Existe variabilidad en ambos métodos y es en primer lugar debido al juicio, pericia e interpretación humana.

Los sistemas automatizados en su totalidad utilizados para la detección de grietas o fallas en carreteras pueden reducir personal requerido, horas hombre y variabilidad entre las calificaciones sin embargo requiere de una significativa inversión inicial en servicios de software específicamente (Shaghilil, N. Khalafallah, A. 2018).

Para la presente investigación nos centraremos en los sistemas semiautónomos por lo que se identificará un dispositivo de grabación que tendrá como objetivo la toma de fotografías, este dispositivo o cámara ira integrado a un drone.

Se dará a conocer las características principales y costos de los diferentes tipos de drones. Esta información se fundamentó con cotizaciones como muestra de los algunos proveedores a nivel nacional (ver tabla N° 9).

Tabla N° 9: Descripción de los tipos de drones en el mercado peruano

RPAs	DESCRIPCIÓN
	<p>Nombre: DJI Matrice 200 v2 Distancia máxima de transmisión: 8 km Tiempo máximo de vuelo: 38 min Velocidad máxima: 81 kph Resistencia al viento: 15 m/s Inversión: \$6,569.00</p>
	<p>Nombre: Phantom 4 pro Distancia máxima de transmisión: 5 km Tiempo máximo de vuelo: 30 min Velocidad máxima: 72 kph Resistencia al viento: 10 m/s Inversión: \$1,839.00</p>
	<p>Nombre: Mavic 2 pro Distancia máxima de transmisión: 18 km Tiempo máximo de vuelo: 31 min Velocidad máxima: 72 kph Resistencia al viento: 10 m/s Inversión: \$1,899.00</p>
	<p>Nombre: Phantom 4 pro v.2.0 plus Distancia máxima de transmisión: km Tiempo máximo de vuelo: min Velocidad máxima: kph Inversión: \$2,399.00</p>
	<p>Nombre: inspire 2 Distancia máxima de transmisión: 7 km Tiempo máximo de vuelo: 27 min Velocidad máxima: 94 kph Inversión: \$3,799.00</p>
	<p>Nombre: Mavic zoom Distancia máxima de transmisión: 8 km Tiempo máximo de vuelo: 31 min Velocidad máxima: 72 kph Inversión: \$1,669.00</p>

Fuente: Aerial Insights (2017)

En el Perú para poder hacer uso de los vehículos aéreos no tripulados es necesario tener licencia otorgada por la Dirección de Certificaciones y Autorizaciones en la Dirección General de Aeronáutica civil (DGAC) además de cumplir con normas para evitar la revocación de la acreditación otorgada.

MTC (2015) Las reglas a seguir para realizar el vuelo de drones en Perú son los siguientes:

- Solo usar el drone en el día y solo cuando las condiciones climáticas sean buenas.
- No dejes que el drone vuele más allá de tu vista
- No vuelas con el drone donde puedas molestar a los animales (sobre todo sin permiso)
- No use su drone a menos de 4 kilómetros del aeropuerto
- No vuelas con su drone cuando hay mucha gente.
- No vuelas con su drone en sitios arqueológicos o religiosos donde no esté permitido.
- No vuele con su drone en áreas militares o gubernamentales.
- Respeta la privacidad de otras personas cuando estés volando su drone.

Asimismo, existen limitaciones y restricciones donde no se podría hacer uso del drone, como los mencionados a continuación:

- La masa del RPA o debe superar los 35 Kg
- Sobre zonas pobladas
- Donde haya cumulo de personas
- Se tendrá que hacer una inspección pre-vuelo para determinar las condiciones de la nave
- La altura máxima de vuelo será de 152.4 m sobre el terreno
- La velocidad aérea máxima será de 100 mph
- El uso del RPAS no podrá ser mayor a 1 hora continuada
- El RPAs solo podrá ser manejado por pilotos certificados y autorizados
- La separación que debe tener el RPA con obstáculos y personas es de 20 metros de manera vertical y 30 metros en horizontal como mínimo.

5.1.2 Sensores

CMOS: es un componente electrónico compuesto de celdas fotoreceptoras capaces de registrar la intensidad luminosa recibida en el momento de la toma fotográfica. Estará recubierto de un filtro que permitirá conocer el color de cada pixel de la imagen. La información registrada se almacena en formato digital y se envía a través del propio circuito electrónico del sensor y de la propia cámara hasta un procesador de la cámara. Éste organiza la información, la interpreta y crea una imagen que será fiel reflejo de la imagen real que acabamos de fotografiar.

Uno de los métodos que tradicionalmente han sido utilizados para la obtención de los colores de cada punto de la toma fotográfica es el denominado uso del «Filtro de Bayer» En la tabla describimos la variable dependiente y de los indicadores de la presente investigación (Ver tabla N° 44). Cada celda fotoreceptora del sensor fotográfico es recubierta de una malla de filtros con los tres colores básicos: Rojo, Verde, Azul. Hay otros tipos de filtros ideados por las diferentes compañías fotográficas, pero el Filtro de Bayer ha sido tomado siempre como referencia para entender cómo se recoge la información de color de la imagen y cómo ésta queda registrada en las células fotoreceptoras del sensor (FranLora, 2020).

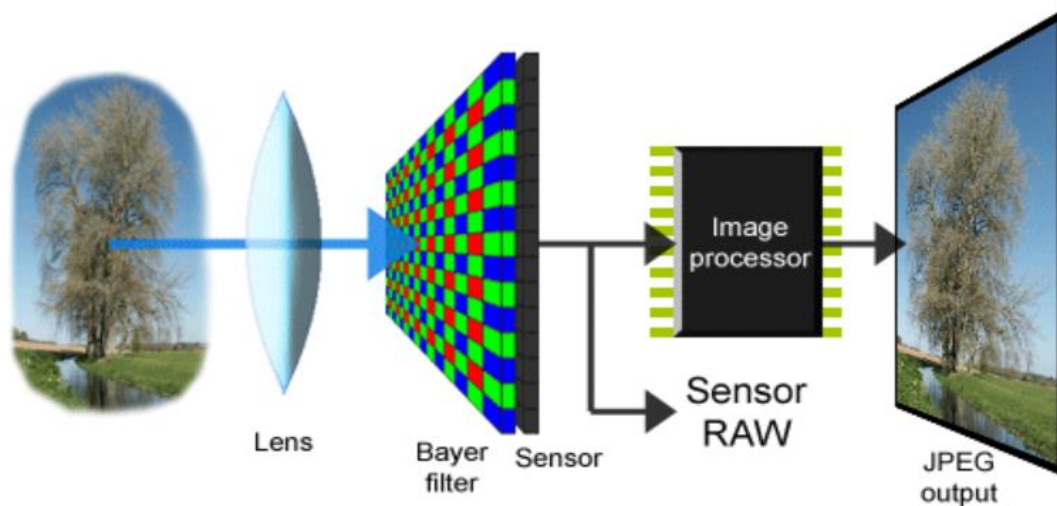


Figura N° 44: Procedimiento para la obtención de la fotografía

Fuente: FranLora, 2020

Cámara con sensor Hasselblad: Las cámaras Hasselblad son famosas por su diseño ergonómico icónico, una calidad de imagen sin concesiones y su artesanía sueca. Desde 1941, las cámaras Hasselblad han capturado algunas de las imágenes más emblemáticas del mundo, incluido el primer alunizaje. Diseñado conjuntamente con Hasselblad después de dos años de investigación incansable, el Mavic 2 Pro viene equipado con la nueva cámara Hasselblad L1D-20c. La L1D-20c posee la exclusiva tecnología de solución de color natural Hasselblad (HNCS) de Hasselblad, ayuda a los usuarios a capturar magníficas tomas aérea.

La solución de color natural Hasselblad (HNCS) fue desarrollada para usuarios serios que exigen la máxima precisión de color. Este sistema ofrece los mejores colores naturales posibles del chip seleccionado sin tener que seleccionar entre varios ajustes preestablecidos. El HNCS ofrece transiciones tonales más suaves y una calidad de imagen más parecida a una película analógica directamente de la cámara, gracias a su profundidad de color de 16 bits, en comparación con la mayoría de los sensores DSLR más pequeños (DJI, 2020).

5.1.3 Hardware y Software

5.1.3.1 Hardware

El hardware o equipos de cómputo se van reinventando constantemente, con más tecnología e implementos para un óptimo uso de esta. A medida que se incrementa el nivel de profesionalidad y exigencias de ciertas actividades, también aumenta la potencia que debe tener el hardware.

El procesamiento de imágenes de fotogrametría suele demandar tiempo ya que todo el procesador del hardware está trabajando en una tarea específica y para reducir el tiempo es necesario adquirir un equipo de cómputo potente, además de un sistema operativo y un SSD.

Como mencionamos anteriormente es el sistema operativo del hardware tiene que ser lo más potente posible como el Core i7 y más de 32 gigas de RAM (Martorell, A.,2020).

Según Casazola, M. (2019) los mejores equipos de cómputo portátiles para la realización de edición de video son las descritas a continuación:

a) Macbook Pro 16 pulgadas

Con un procesador Intel Core i9, tarjeta AMD Radeon 5000M es una notebook con gran potencia gráfica. Además de disponer de 8GB de memoria VRAM GGDR6 y 8 TB de almacenamiento SSD.

b) Lenovo Legion Y7000

Procesaron Core i7 y una tarjeta de video GTX 1060, gracias a ello le permite procesar videos de hasta 4K. Tiene un RAM de 16 GB. Cuenta con un almacenamiento de 1TB con 256 GB de SSD.

c) MacBook Pro 15

Tiene un procesador Intel Core i9 con una tarjeta gráfica Radeon Pro Vega 20, que es necesaria para el procesamiento de los videos. Su almacenamiento es de 512 GB de SSD para el sistema operativo

d) HP Zbook Studio x360

Cuenta con un procesador Core i7 y una tarjeta gráfica NVIDIA Quadro P1000. Su almacenamiento es de 512 GB en SSD.

e) MSI GT75 Titan 8SG-016ES

Tiene un procesador Intel Core i9, con una tarjeta gráfica NVIDIA RTX 2080 de 8 GB. El tipo de almacenamiento es de 1TB HDD y de 512 GB de SDD.

5.1.3.2 Software

5.1.3.2.1 Software de plan de vuelo

Para la generación de nube de puntos, ortofotos, etc. Se necesita de una aplicación la cual nos ofrezca distintas herramientas para efectuar un plan de vuelo óptimo (Aerial insights, 2017)

- Pix4d Capture
- DJI Terra
- DroneDeploy

A continuación, describiremos los diferentes tipos de software destacados en el mercado:

- Pix4d Capture

Es una de las aplicaciones más conocidas para realizar el plan de vuelo. Está disponible para Android y iOS. Compatible para la mayoría de drones profesionales más comercializados (Phantom, Inspire, Mavic). Tiene una integración perfecta con los diferentes sistemas de software del fabricante. El funcionamiento de esta aplicación es sencillo, una vez que se tiene la zona a mapear, se procede a abrir la aplicación y seleccionar el área a sobrevolar. La manera de configurarlo con respecto a los aspectos relativos a el vuelo es sencilla: velocidad, ángulo de inclinación de la cámara o el porcentaje de solape ente imágenes (Ver figura N° 45). Una vez definido y calculadas las rutas, la aplicación se comunica con el dron y este realizar el vuelo de forma autónoma. Esta aplicación permite definir vuelos en forma de cuadrícula, doble cuadrícula (solapando dos cuadrículas perpendiculares), vuelos circulares, incluso unir varios de los anteriores dentro de un único vuelo



Figura N° 45: Pantalla del software Pix4D Capture

Fuente: Aerial insights, 2017

- DJI Terra

Genere rápidamente u ortomosaico 2D del área seleccionada en tiempo real. Esto no solo es ideal para crear rutas de vuelo detalladas en áreas remotas, sino que también es útil para misiones emergentes que requieren na rápida toma de decisiones en el lugar (Ver figura N° 46). Compatible para la serie de drones Phantom 4 Pro.

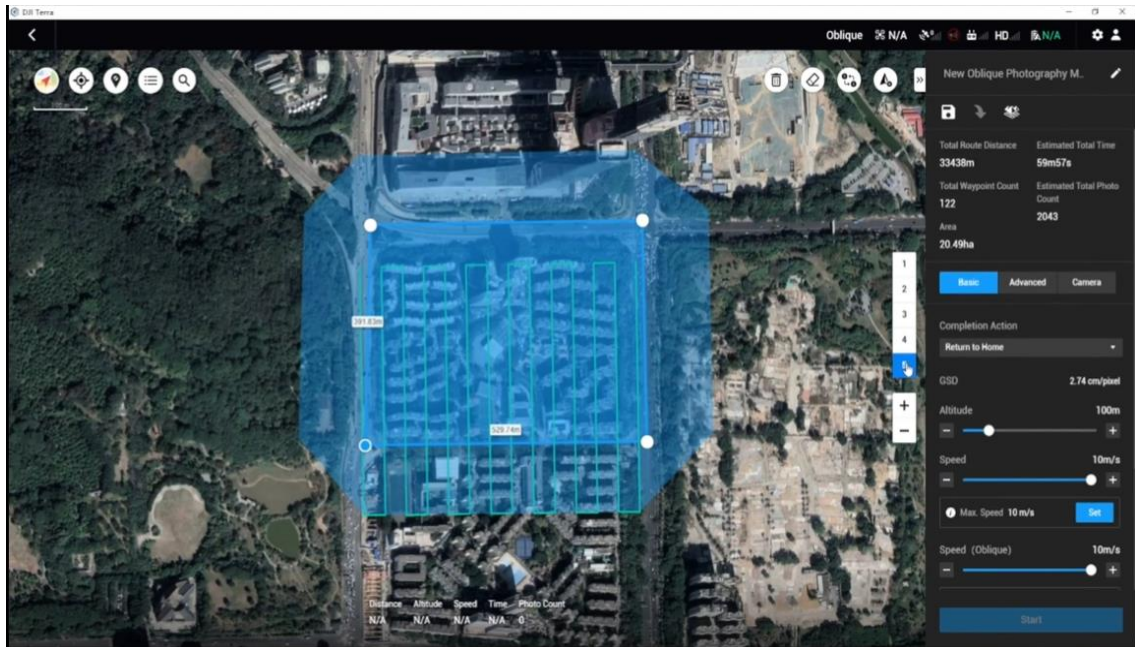


Figura N° 46: Pantalla del software DJI Terra

Fuente: <https://www.dji.com/>

- DroneDeploy

Este planificador se caracteriza por ser intuitivo y sencillo de utilizar. Disponible para Android y iOS y compatible para la mayoría de los drones de la marca DJI.

La planificación de vuelo es sencilla similar al software Pix4d. En primer lugar, se selecciona el área a sobrevolar y luego se elige los diferentes parámetros como altura de vuelo. Posteriormente la aplicación realizara un *checklist* del buen funcionamiento y el drone comenzara el vuelo de forma autónoma (Ver Figura N° 47).

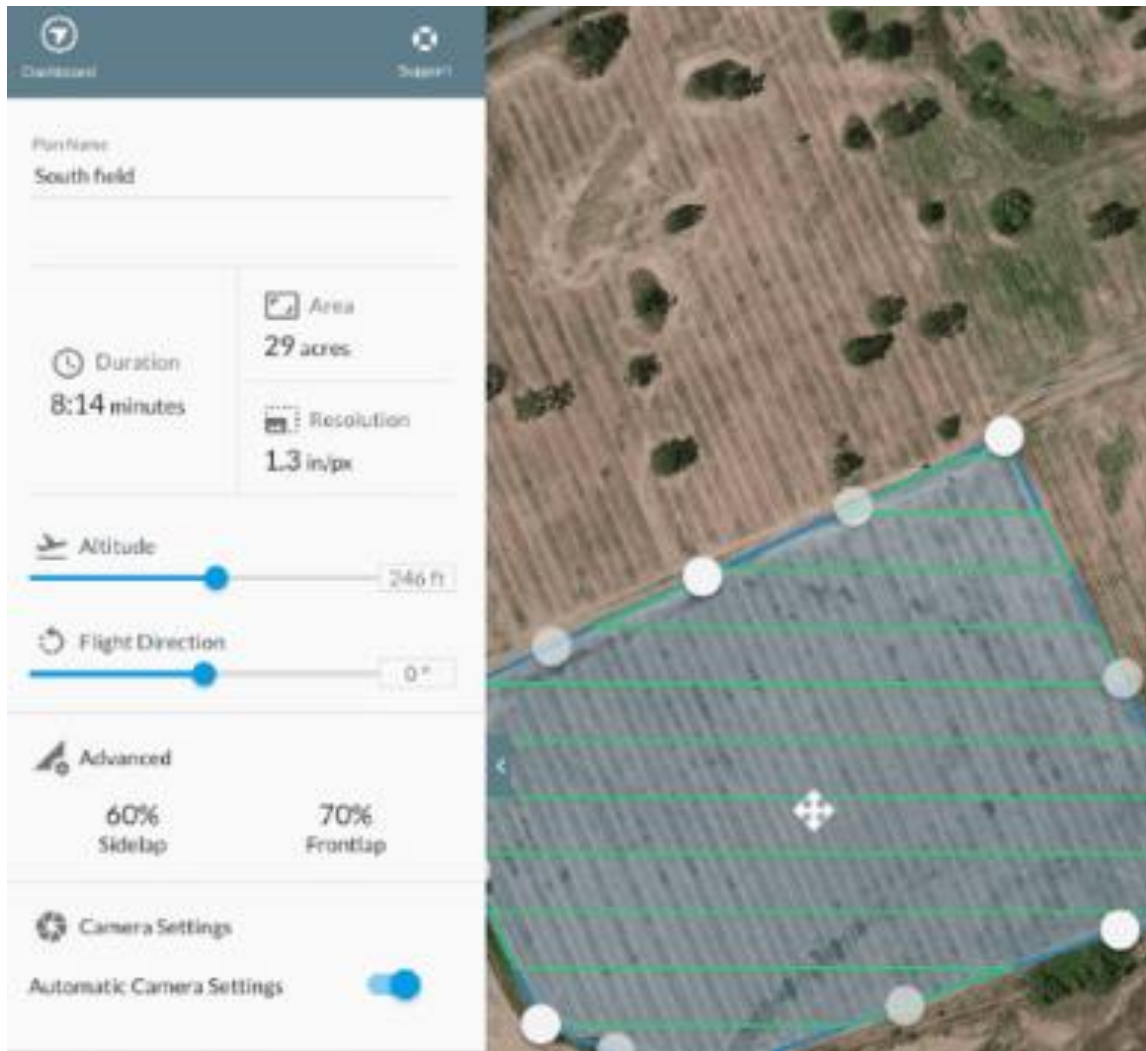


Figura N° 47: Pantalla del software DroneDeploy

Fuente: Aerial insights, 2017

5.1.3.2.2 Software del procesamiento (Gabinete)

En el siguiente cuadro se explica las diferencias entre las cinco aplicaciones más comerciales en Latinoamérica (Ver figura N° 48).

APP	CARACTERÍSTICAS	PRECIO (COP)	SISTEMA OPERATIVO	DRONES COMPATIBLES	LOGO APP	LENGUAJE
DroneDeploy	NDVI + capas de elevación Medida de volumen Mapa + 3D Exportar Shapefile + Contour Export RTK + Coordenadas personalizadas Puntos de control de tierra Modelos digitales del terreno	\$ 8 531 645 / año	Aplicación móvil Android iOS	Mavic Pro - Phantom 4 Pro - Phantom 4 - Phantom 4 Advanced - Phantom 3 Pro - Phantom 3 Advanced - Inspire 1 and Inspire 1 Pro - Inspire 2 (including support for the Zenmuse x5 camera) - Matrice 100 - Matrice 200 - Matrice 600		
Pix4D	Orthomosaics Modelos digitales de elevación (DSM / DTM) Mapas de índice (por ejemplo, NDVI) Medir distancias, superficies y volúmenes No evita obstáculos automáticamente	\$24 750 021/perpetuidad	OS: Windows 7, 8, 10 64 bits, Mac OS (Beta), Linux (Enterprise only)	• DJI - Phantom 4 Pro - Phantom 4 - Mavic Pro - Inspire 2 - Inspire 1 (Pro) - Phantom 3 Professional - Phantom 3 Advanced - Phantom 3 Standard - Matrice 100 - Spark • Parrot - Bebop 2 with Skycontroller 2 - Bluegrass		English, Spanish, Mandarin (zh-CN, zh-TW), Russian, German, French, Japanese, Italian and Korean
PrecisionFlight	CON CONEXIÓN Y SIN CONEXIÓN Orthomosaics Modelos 3D Herramientas de análisis Mediciones de Volumen nubes de puntos y modelos de superficie digital de datos aéreos MAPAS DE LÍNEAS DE CONTORNO INSPECCIÓN DE FACHADAS	\$ 537 000	Aplicación móvil Android	Phantom 3 Standard Phantom 3 Advanced Phantom 3 Professional Phantom 3 4K Phantom 4 Pro Inspire 1 Inspire 2 Matrice 100 Matrice 600 Pro Mavic Pro		
ALTIZURE	modelos 3D y ortofotos de fotogrametría	free	Aplicación móvil Android iOS	Mavic Pro Inspire 1 (X3 / X5 / X5R) Phantom 4 Series (4 / 4 Pro) Phantom 3 Series (Professional / Advanced / 4K / Standard) M600, M100 A3 / A2 + LB2 (Testing) Inspire 2 (Testing) N3 + LB2		
MAP PILOT	calcular áreas	\$144 000	iOS	Phantom 4 Pro Phantom 4 Mavic Pro Phantom 3 Professional Phantom 3 Advanced Phantom 3 Standard Inspire 1 Inspire 1 Pro Matrice 100 Matrice 600		

Figura N° 48: Detalle de las aplicaciones del mercado peruano

Fuente: <https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/603/843> <https://www.decamaras.com/CMS/content/view/101/40-Cuantas-fotos-caben-en-una-tarjeta-de-memoria>

5.1.3.3 Plan de vuelo

El plan de vuelo para la operación de los RPAS en áreas de interés de hará tomando en cuenta la superficie a volar, el tipo de sensor a usar, además de los parámetros de vuelo requeridos en el software usado para la programación de vuelo.

Para poder procesar las imágenes del drone y obtener un mejor producto final es necesario que el drone esté siendo pilotado por un piloto certificado. A

continuación, describiremos algunas técnicas de vuelo del dron y toma de fotografías (Aerial insights, 2017).

Existen tres aspectos para la fotogrametría con drones:

- La trayectoria de vuelo
- El solape entre las imágenes
- Posición de la cámara

Por lo tanto, para la reconstrucción de los detalles de la carretera es necesario un tener un número mínimo de fotografías. Líneas abajo se analizará el plan de vuelo fotogramétrico para cada caso.

- Plan de vuelo para la generación de ortomapas

La trayectoria a seguir será de forma de cuadrícula. Los solapes mínimos son entre 75% (frontal) y 60% (lateral). La posición de la cámara estará totalmente perpendicular apuntando al suelo (plano cenital) (Ver figura N° 49).

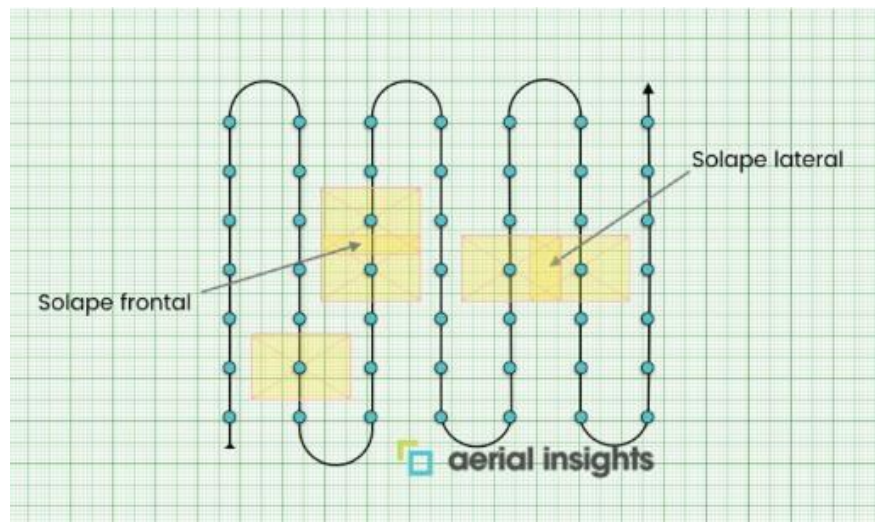


Figura N° 49: Plan de vuelo para la generación de ortomapas

Fuente: Aerial insights, 2017

- Planificación de vuelo de canteras y áreas construidas

Para generar reconstrucciones en 2D y 3D es necesario completar una trayectoria de doble cuadrícula, es decir, completar una trayectoria como para el caso de una ortofoto y continuar con otra similar a 90 grados. Con ello nos aseguraremos de tener fotografías de 4 puntos (norte, sur, este, oeste). El solape es de 75% y 60%. Para que las paredes verticales puedan ser

reconstruidas, es necesario que la cámara apunte en un ángulo de entre 10° y 35° (Ver figura N° 50).

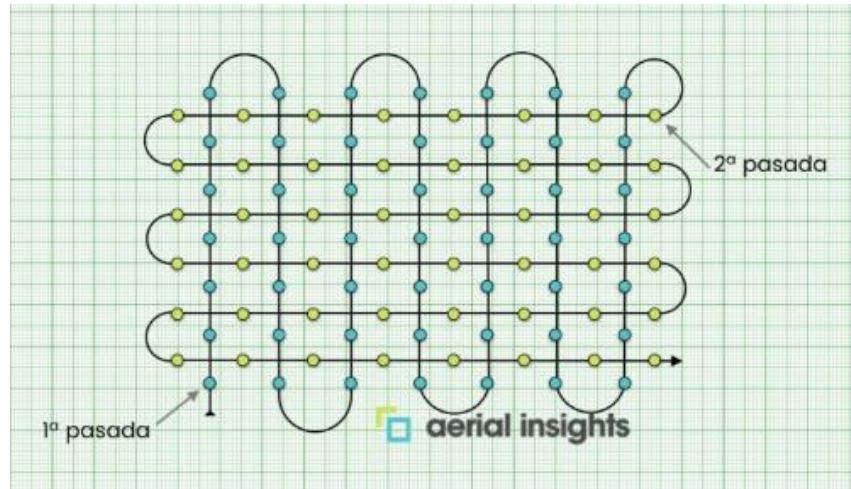


Figura N° 50: Planificación de vuelo de canteras y áreas restringidas

Fuente: Aerial insights, 2017

• Planificación de vuelo para edificaciones y otros

Es necesario completar tres trayectorias circulares a diferentes alturas, en un único vuelo o en varios vuelos consecutivos. La cámara debe formar un ángulo de 45° en la trayectoria más baja, 30° en la trayectoria media y 10° en la más elevada. Es necesario tomar de 40 a 80 capturas en cada una de las orbitas, es decir, habrá una separación por 5° - 10° entre fotos (Ver figura N° 51).

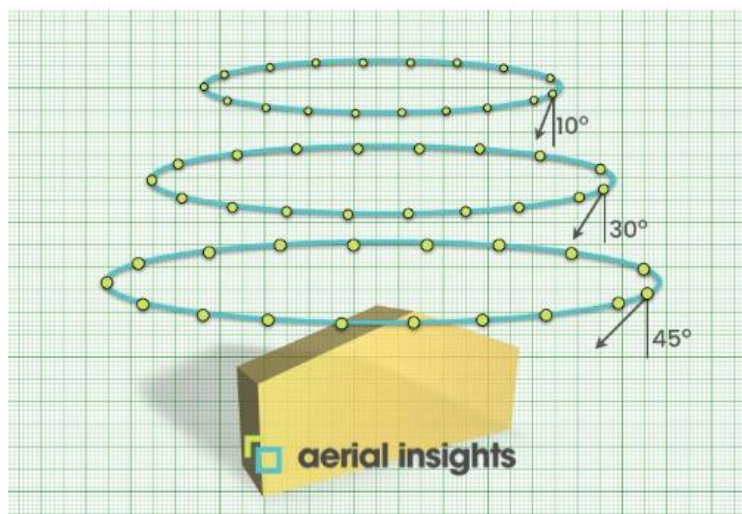


Figura N° 51: Planificación de vuelo para edificaciones y otros

Fuente: Aerial insights, 2017

5.2 Criterios de selección del sistema de aeronaves pilotadas remotamente

5.2.1 Sistema de aeronaves pilotadas remotamente

Desarrollaremos las comparaciones correspondientes en base a los criterios de levantamientos de fallas en carreteras, las comparaciones, en su totalidad, serán por los modelos mostrados anteriormente puesto que el drone multirrotores son del tipo más recomendado en trabajos de estas características. Cabe resaltar que la información hallada fue producto de una investigación exhaustiva referenciadas en datos oficiales proporcionados por DJI Perú (TECH) mediante cotizaciones. Comenzaremos comparando a dos drones Inspire 2 y Mavic 2 (Ver tabla N° 10)

Tabla N° 10: Comparativa de drones entre Inspire 2 y Mavic 2

COMPARATIVA DE DRONES		
	INSPIRE 2	MAVIC 2
Especificaciones	Drone profesional con mayor enfoque al cine/películas. Material de fibra de carbono reforzada con metal delgado y elegante Su tamaño es grande y voluminoso Es necesario un ensamble para la puesta en marcha	Más económico Arquitectura: predomina material plástico sin embargo es compacto y manejable Puede transportarse fácilmente debido a su portabilidad. Al ser compacto solo es necesario desplegar sus componentes
Calidad de disparo - resolución	6K de resolución, sistema de cámara intercambiable, la cual hace del drone un vehículo duradero y actualizable 60 FPS con sensor 1”	Combina con la tecnología suiza de cámara Hasselblad 4K de resolución con 30 FPS.
Rendimiento con poca luz	Trabaja mejor a poca luz	No tiene rendimiento a la luz

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente procederemos a comparar a los dos tipos de drones más utilizados por su manejabilidad y precio: El drone Mavic 2 Pro y el Phantom 4 Pro (Ver figura N°52 y tabla N°11).



Figura N° 52: Drone Mavic 2 Pro y Phantom 4 Pro

Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=XdRDZkRyh_A

Tabla N° 11: Comparativa de drones entre en Phantom 4 Pro y el Mavic 2 Pro

	COMPARATIVA DE DRONES	
	PHANTOM 4 RO	MAVIC 2 PRO
Batería del control remoto	6000 mAH (sobre todo si se realiza varios vuelos en un día)	3959 mAH
Almacenamiento interno	No lleva ningún tipo de almacenamiento interno	Viene incluido 8 GB de almacenamiento
Resistencia	Resistente a los golpes	Chasis devil ante golpes

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Tipo de sensor

Se realizó la prueba de calidad de imagen y nitidez comparando el sensor del Mavic 2pro con el Phantom 4pro debemos acotar que el Mavic 2pro viene con 2 modos de grabación en 4K *Full Fove* y *HQ mode*, el de mayor nitidez. (Ver figura N° 53, 54, 55, 56)

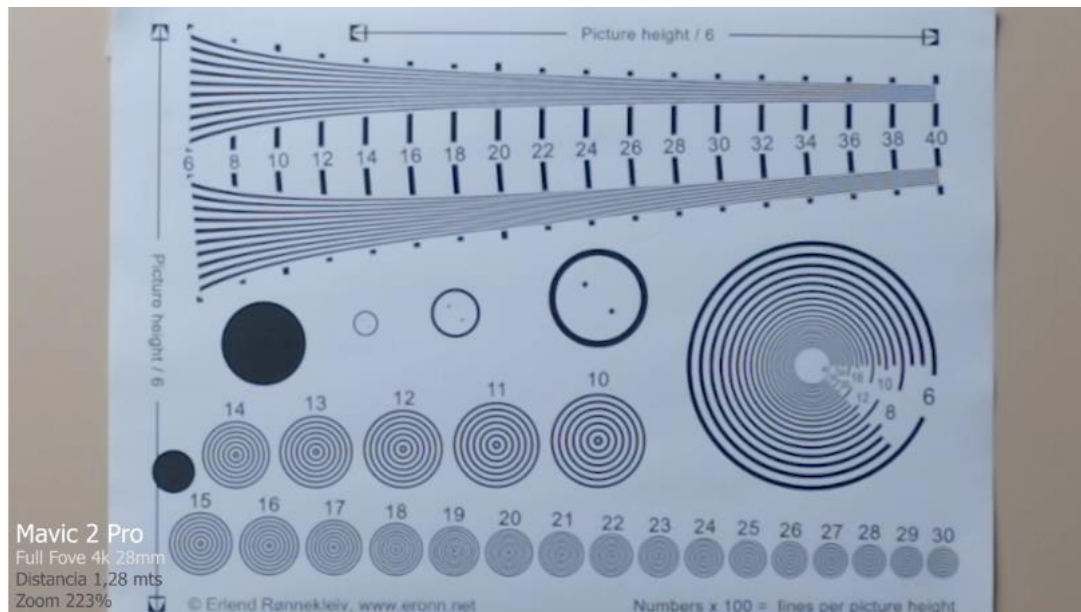


Figura N° 53: prueba de calidad de imagen y nitidez del sensor del Mavic 2 PRO

Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=XdRDZkRyh_A

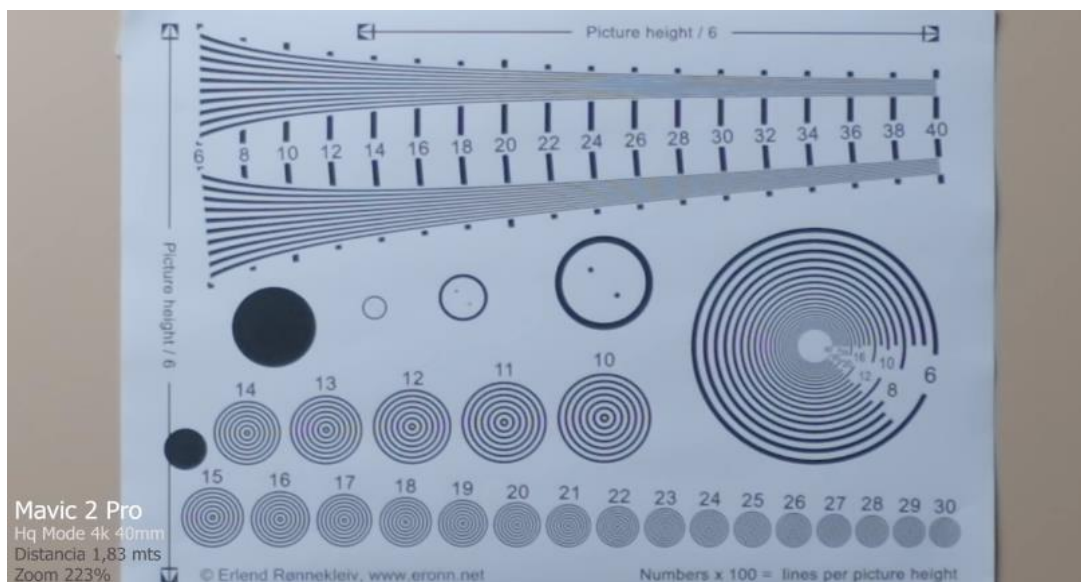


Figura N° 54: prueba de calidad de imagen y nitidez del sensor del Mavic 2 PRO

Fuente: <https://www.youtube.com/>

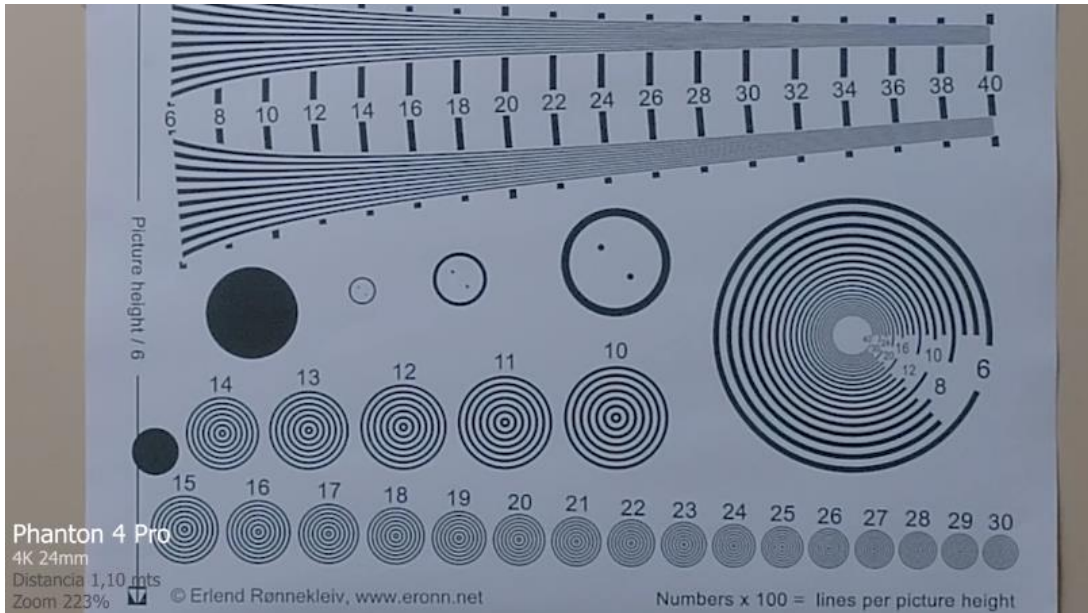


Figura N° 55: prueba de calidad de imagen y nitidez del sensor del Phantom 4 PRO

Fuente: <https://www.youtube.com/>

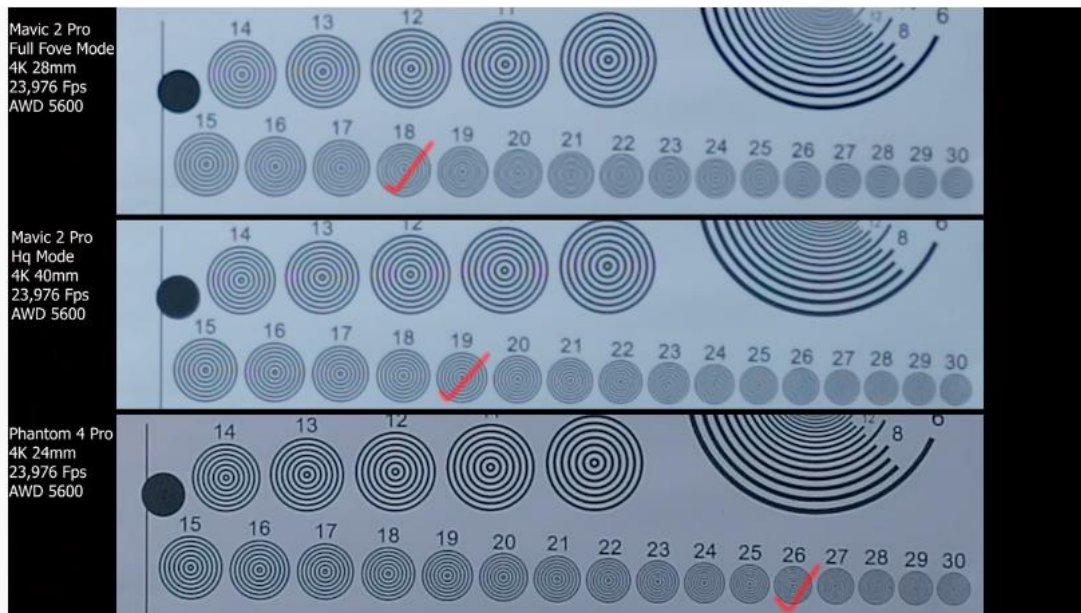


Figura N° 56: Comparación de calidad de imagen y nitidez

Fuente: <https://www.youtube.com/>

Podemos observar la comparación en cuanto a fotograma por segundo (FPS), es decir, el Mavic 2 Pro nos proporciona 30 imágenes por segundo mientras el drone Phantom 4 Pro envía 60 imágenes por segundo (Ver figura N°57):

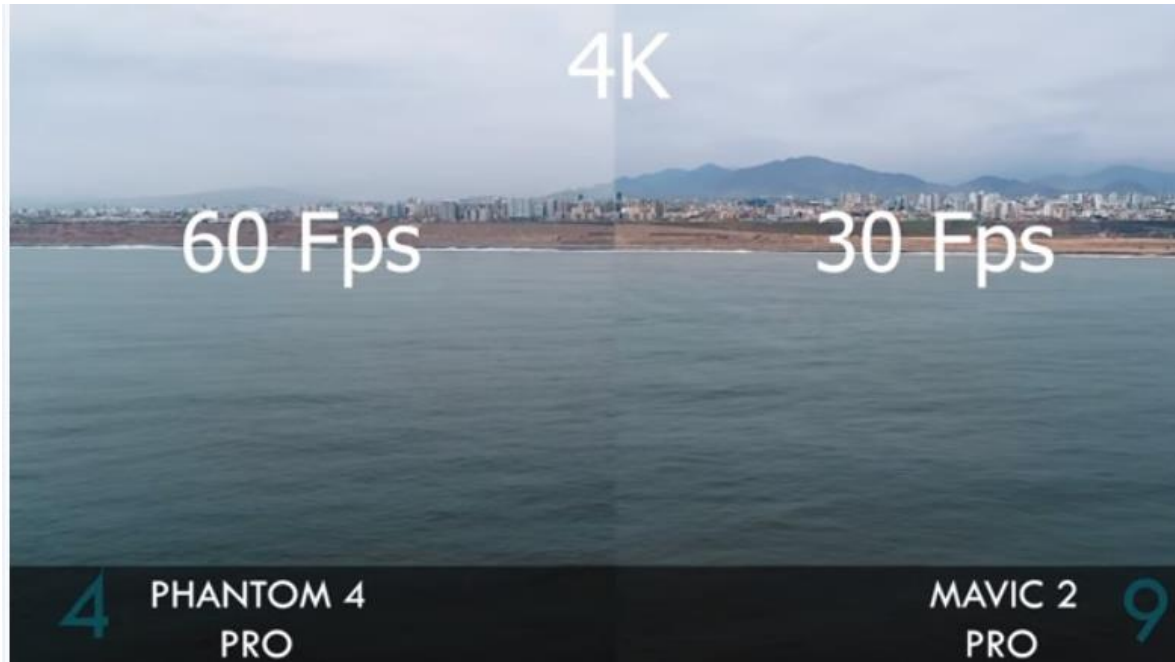


Figura N° 57: Comparación de FPS entre el drone Phantom 4 PRO y el Mavic 2 PRO

Fuente: <https://www.youtube.com/>

Para identificar al vehículo aéreo no tripulado con un desempeño óptimo diferenciamos entre los drones Phantom 4 Pro y el Mavic 2 Pro según el sensor del lente, almacenamiento interno y la resistencia (ver tabla N° 12).

Tabla N° 12: Comparativa de sensores entre el drone Phantom 4 Pro y Mavic 2 Pro

COMPARATIVA DE DRONES		
	PHANTOM 4 PRO	MAVIC 2 PRO
Distancia focal	Apertura máxima de 2.8; lente focal de 24 mm (distancia focal); es más amplio	Apertura focal de 2.8; lente focal de 28 mm (más cerrado); tiene un modo de grabación 4K Hq
Grabación con FPS	Grabación en 4K con 60 FPS	Grabación en 4K Hq con 30 FPS
Modos de Grabación	Grabación en 4K	2 modos de grabación: Fullfove 4K 28 mm y 4K Hq Mode

Fuente: Elaboración propia

Para demostrar la resolución esperada del tamaño del pixel hacemos una operación matemática basándonos en la altura de vuelo, la distancia focal, el ancho de la imagen y de la cámara (Ver figura N° 58). Donde la altura de vuelo del drone será a 30 metros, la distancia focal será de 4.34 milímetros, el ancho de la imagen será de 5472 pixel, el ancho del sensor de la cámara de 1.28 milímetros.

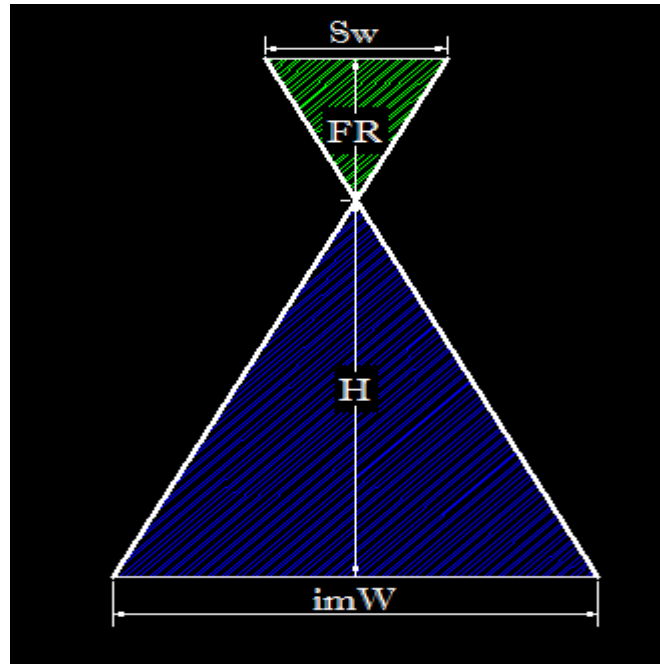


Figura N° 58: Resolución esperada para la obtención del tamaño del pixel
 Fuente: Florentino, R., 2017

$$GSD = \frac{H \times Sw \times 100}{FR \times imW}$$

Donde:

H: Altura de vuelo (m).

FR: Distancia focal de la cámara (mm).

imW: Ancho de la imagen (pixel).

Sw: Ancho del sensor de la cámara (mm).

Estimación del tamaño del GSD (Distancia de muestreo de tierra)

Datos: Sensor CMOS con 20 MP (Modelo DSC-wx220)

H: 30(m)

FR: 4.34 (mm)

imW: 5472 (pixel)

Sw: 12.8 (mm)

$$GSD = \frac{30 \times 12.8 \times 100}{4.34 \times 5472}$$

$$GSD = 1.62 \text{ cm/pixel}$$

$$\text{ó } 3.24 \text{ cm}^2$$

El resultado obtenido del GSD = 1.62 centímetros (cm), quiere decir que por cada pixel de la fotografía tomada se tiene 1.62 centímetros (cm) o 3.24 centímetros cuadrados (cm²) en el terreno

5.2.3 Tipo de hardware y software

5.2.3.1 Hardware

El tiempo para el procesamiento de imágenes para fotogrametría suele ser largo y la computadora debe permanecer encendida por lo tanto dedica todo su procesador en un trabajo específico (Martorell, A.,2020) debido a esto debemos escoger un equipo de cómputo potente con características convenientes que agilicen el procesado de imágenes: Core i7 y más de 32 GB de RAM (*Random Access memory* o memoria de acceso aleatorio) (Ver figura N° 59).

Fue conveniente elegir el hardware que cumpla con la característica y a un precio módico (Ver tabla N° 13).

Tabla N° 13: Tipos de hardware y sus características

Hardware	Procesador	Tarjeta de video	Tarjeta de memoria	Almacenamiento	Precio
Macbook Pro 16 pulgadas	Intel Core i9	AMD Radeon 5000M	8GB de memoria RAM	8 TB de almacenamiento SSD	S/13,500
Lenovo Legion Y7000	Core i7	GTX 1060 (procesar videos en 4K)	RAM de 16 GB	1TB con 256 GB de SSD	S/4,699
MacBook Pro 15	Intel Core i9	Radeon Pro Vega 20	RAM de 16 GB	512 GB de SSD	S/8,400
HP Zbook Studio x360	Core i7	NVIDIA Quadro P1000	RAM de 32 GB	512 GB en SSD	S/19,499
MSI GT75 Titan 8SG-016ES	Intel Core i9	NVIDIA RTX 2080	8GB de memoria RAM	1TB HDD y de 512 GB de SSD	S/5,000.00

Fuente: Elaboración propia

Es preciso indicar que la tarjeta de video del equipo Lenovo Legion Y7000 viene integrada y es de 16 GB, sin embargo, esta puede cambiarse por una de mayor capacidad para el procesamiento de los datos obtenidos en campo.



Figura N° 59: Tarjeta de memoria RAM de 64 GB.

Fuente: <https://www.mercadolibre.com.mx/>

El Phantom 4 pro utiliza una cámara cuyo tamaño del sensor es de 20 MP por lo que se recomienda usar una tarjeta de memoria robusta que aporte fluidez al trabajo a realizar ya que se almacenará gran información por ello se eligió la de 32 GB ya que el levantamiento a analizar será de un (1) kilómetro (Km) de carretera, sin embargo si son trabajos con mayor información y data se recomienda usar tarjetas de memoria de 64 GB a más, por lo tanto tenemos un numero de fotos estimados 4 369 (ver figura N° 60).

Número de fotos estimadas					
	resolución de la cámara				
Tarjeta	12 MP	14 MP	16 MP	20 MP	24 MP
1 GB	227	195	171	137	113
2 GB	455	390	341	273	227
4 GB	910	780	683	546	455
8 GB	1.820	1.560	1.365	1.092	910
16 GB	3.641	3.121	2.731	2.185	1.820
32 GB	7.282	6.242	5.461	4.369	3.641
64 GB	14.564	12.483	10.923	8.738	7.282

Figura N° 60: Tamaño de sensor, numero de fotos y capacidades de tarjetas de memoria.

Fuente: <https://www.decamaras.com/>

5.2.3.2 Software

5.2.3.2.1 Software del plan de vuelo (Campo)

El software predeterminado que usa el modelo del dron Phantom 4 Pro es el DJI Terra, es una aplicación que permite la captura y análisis del sobrevuelo, de mapeo fácil de usar. Se crea misiones de vuelo automatizadas alrededor de carreteras realizando una línea en el mapa. Así mismo, se puede configurar la misión para cambiar el área total mapeada, lo que brinda la flexibilidad de elegir entre crear mapas 2D de alta definición y modelos 3D (Ver figura N° 61).

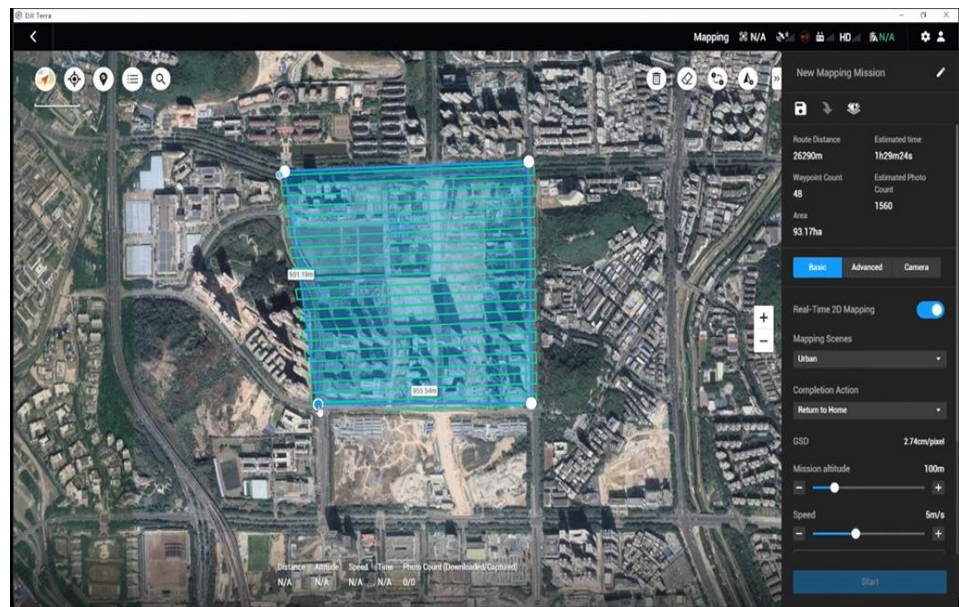


Figura N° 61: Pantalla del software DJI Terra

Fuente: <https://www.dji.com/>

5.2.3.2.2 Software para el procesamiento de data (Gabinete)

El software elegido para el procesamiento de datos será el Agisoft Metashape debido a la que la aplicación es de alta gamma para la fotogrametría. Este software puede procesar fácilmente las imágenes digitales fotogramétrica y crear datos espaciales 3D detallados que pueden exportarse fácilmente a otros programas.

Este software permite generar ortofotos georreferenciadas de alta resolución, DEM detallados y modelos poligonales texturizadas. El flujo

de trabajo automatizado permite a cualquier usuario procesar miles de imágenes en un equipo de cómputo para producir datos fotogramétricos de calidad.

Agisoft Metashape es una solución de software fotogramétrico que genera automáticamente nubes de puntos densas de modelos poligonales, ortomosaicos e índices DSM / DTM de imágenes (Ver figura N° 62).

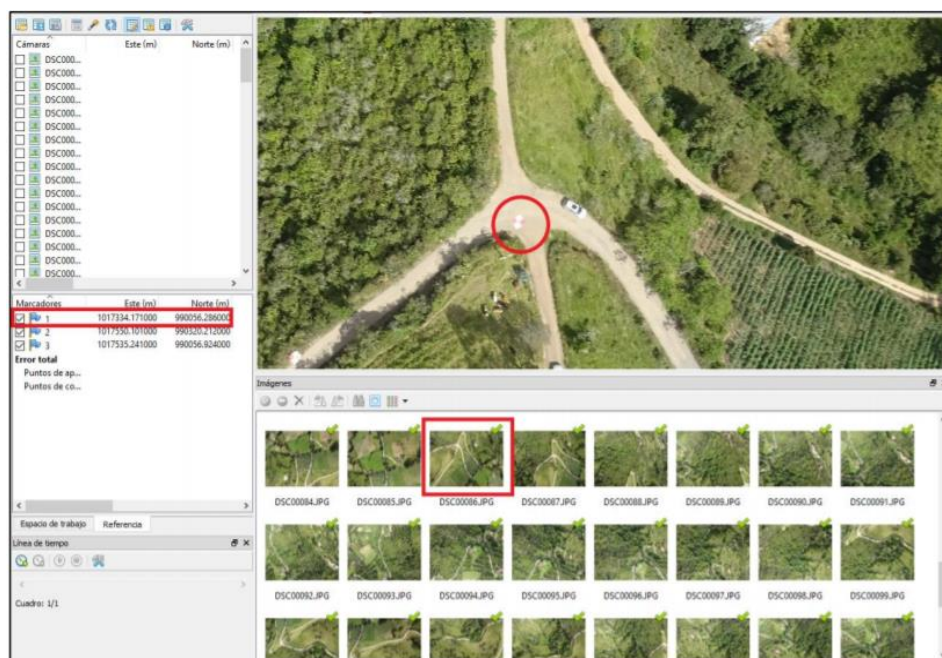


Figura N° 62: Pantalla del software Agisoft Metashape

Fuente: Zafra, Y. (2018)

5.2.4 Plan de vuelo

Para la planeación del vuelo mediante la aplicación de un celular la podemos realizar mediante los siguientes pasos:

- i. Tipo de terreno: Se recomienda hacer una inspección ocular en a visita a campo en el área de levantamiento para el reconocimiento de la geomorfología del terreno como las pendientes pronunciadas, cuan densa en la vegetación, si se presencia algún obstáculo como antenas o edificios. En caso de no ir a la zona de trabajo es importante contar con un polígono en formato kmz. o kml. de Google Earth y a través de él se pueda inspeccionar previamente la zona de estudio. Con todo lo mencionado se definirá donde se colocarán los puntos de apoyo de control

terrestre asimismo se colocará el punto de partida donde es preciso decir que deberá un lugar donde se alcance a ver toda la zona de estudio

La dirección de las líneas de vuelo puede ser horizontales o transversales por ello es importante acceder al centro del polígono o estar en la zona perimetral y ubicarse en una esquina. Por lo tanto, se tomaría la forma de vuelo paralela a la carretera porque de esa manera se puede optimizar la batería del drone ya que al realizar la menor cantidad de vueltas o giros menor será el desgaste de la batería del drone. Sin embargo, incluyen otros factores como climatología, lluvias y la densa vegetación.

ii.App de planeación

Existen distintas aplicaciones para la planeación del vuelo in situ una de ellas es Pix4dcapture la cuál es la más conocida, servicial y gratuita.

iii.Resolución esperada GSD (*Grand Sample Distance*) o tamaño de pixel

Distancia que puede tener un pixel en el terreno.

iv.Altura de vuelo

Es recomendable realizar el vuelo a una altura de 20 metros (m) para percibir el detalle. Dependerá también del sensor de la cámara.

v.Velocidad de vuelo

Se recomienda realizar el vuelo entre 8 metros y 12 metros por segundo de lo contrario si se utiliza velocidades mayores, se podría alcanzar a un efecto de barrido.

vi.Porcentaje de recubrimiento estereoscópico (traslape)

En su mayoría el porcentaje de traslape para levantamiento de fallas en carreteras es de un 75% entre fotos.

vii.Angulo de inclinación de la cámara

Para la toma de fotografías se recomienda ubicar la cámara de manera cenital, es decir, la cámara estará en 90° en dirección del suelo.

5.3 Presentación de resultados

Basándonos en los cuadros comparativos ubicados en los criterios de selección, se realizaron análisis con las características más resaltantes de cada drone para este propósito de levantamiento de fallas basándonos en los siguientes lineamientos: batería del control remoto, almacenamiento interno y la resistencia de los vehículos aéreos no tripulados, dándonos como resultado que el Phantom 4 Pro (ver figura N° 63) es el más recomendado en las especificaciones técnicas debido a que cuenta con una batería de 6000 mAH y con carcasa robusta en comparación a los distintos tipos de drones de gamma intermedia.

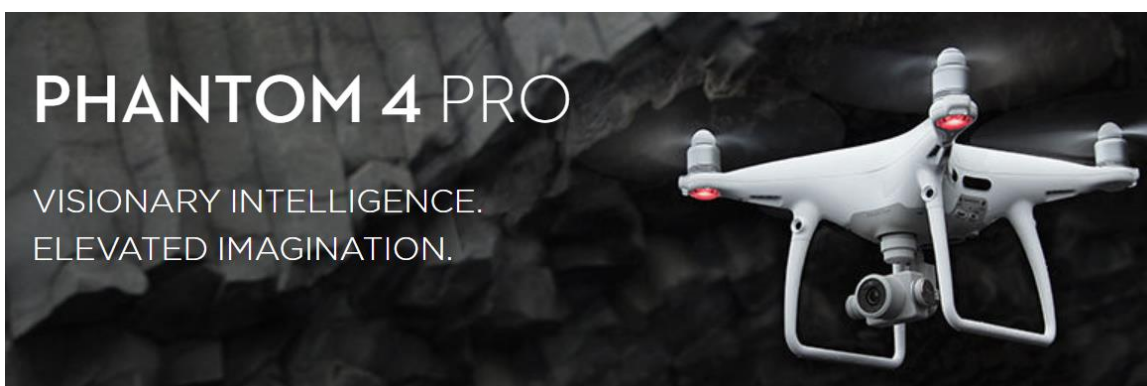


Figura N° 63: Ilustración del modelo de drone Phantom 4 Pro

Fuente: <https://www.dji.com/>

Para el presente trabajo se contó con el apoyo del Sr. Berlín Valle Gómez, piloto del drone Phantom 4 Pro con el software plan de vuelo Terra. El técnico se encontraba situado en el departamento de Amazonas provincia de Chachapoyas, donde se vio por conveniente ubicar una carretera en estado crítico para la posterior detección de fallas. La vía elegida fue un tramo de la carretera hacia el mirador del Cañón de Huancas Sonche donde se desarrolló 1 kilómetro (km) (ver figura N° 64 y figura N° 65).

Se asentó al drone Phantom 4 Pro en las coordenadas geográficas

E: 183483.16 m E

N: 9316669.76 m S

Z: 2602 m.s.n.m.

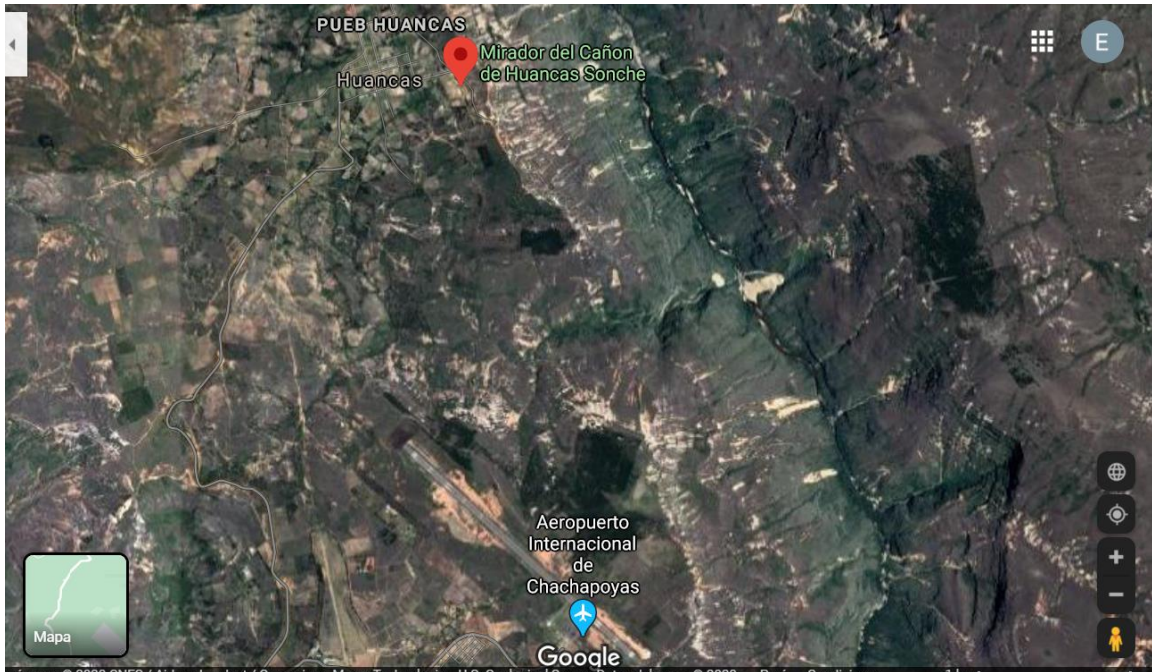


Figura N° 64: Ubicación de la carretera hacia del Mirador del Cañón de Huancas Sonche

Fuente: Google Earth

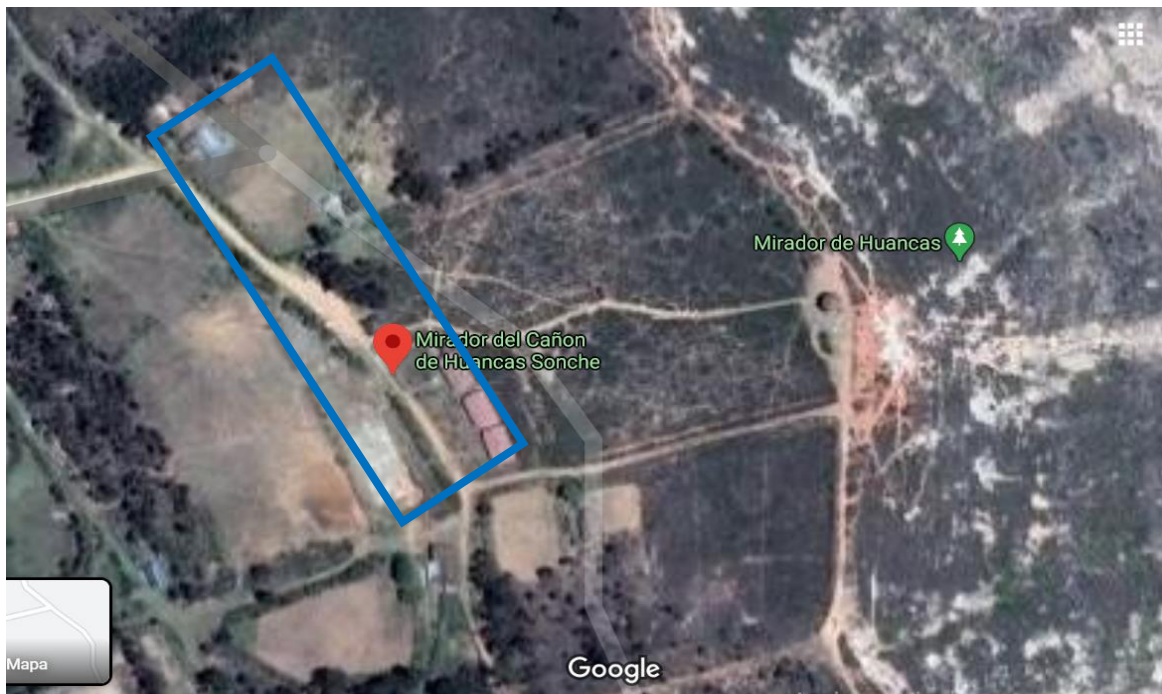


Figura N° 65: Tramo de la carretera hacia el mirador del Cañón de Huancas Sonche

Fuente: Google Earth

Antes de realizar el vuelo, el drone Phantom 4 Pro tuvo que realizar el plan de vuelo, con el software integrado Terra, que fue paralelo a la carretera hacer esta operación tomo 15 minutos, y se realizó la calibración del drone en un tiempo de 5 minutos, para luego sobrevolar la carretera hacia el mirador de Huancas Sonche a una altura de 35 metros, con un traslape de 75 % entre fotos y cuya velocidad de vuelo fue 15 km/h, del vuelo se obtuvo fotografías (ver figura N° 66, 67, 68, 69) donde se pudo apreciar el panorama de la carretera con la intención de estudiar y observar las fallas. El vuelo fue realizado en 5 minutos incluido el despegue y aterrizaje.

La zonificación donde se realizó el vuelo del drone mostro alta densidad de vegetación, por lo tanto, no pudo realizarse a la altura requerida la cual era entre 15 a 20 metros para obtener una muestra de fotografías con calidad y tuvo que realizarse a 35 metros.

Las fotografías captadas (60 FPS) por la cámara cuyo sensor es el CMOS muestran baja resolución, debido a que el sensor impidió volar altura requerida por la densidad de árboles y se tuvo que realizar el vuelo a una altura mayor además estos archivos fueron comprimidos para su envío, pese a los inconvenientes presentados se pudo observar las fallas mediante fotografías.

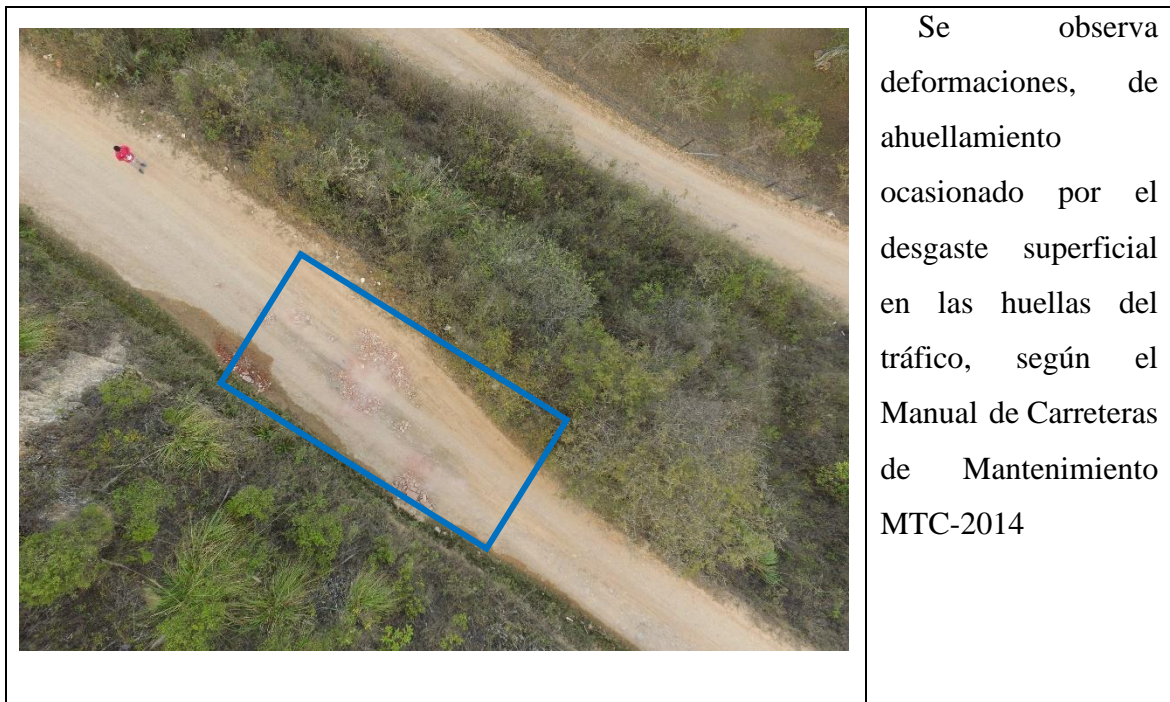


Figura N° 66: Ubicación de las fallas obtenidas por la cámara del drone

Fuente: Sr. Berlín Valle Gómez

	<p>Se observa el deterioro de la vía por erosión, debido a los surcos erosivos por los escurrimientos de agua paralelos al eje de la carretera según el Manual de Carreteras de Mantenimiento MTC-2014</p>
--	--

Figura N° 67: Ubicación de las fallas obtenidas por la cámara del dron

Fuente: Sr. Berlín Valle Gómez

	<p>Se observa el deterioro de la vía por erosión, debido a los surcos erosivos por los escurrimientos de agua paralelos al eje de la carretera, según el Manual de Carreteras de Mantenimiento MTC-2014</p>
--	---

Figura N° 68: Ubicación de las fallas obtenidas por la cámara del dron

Fuente: Sr. Berlín Valle Gómez

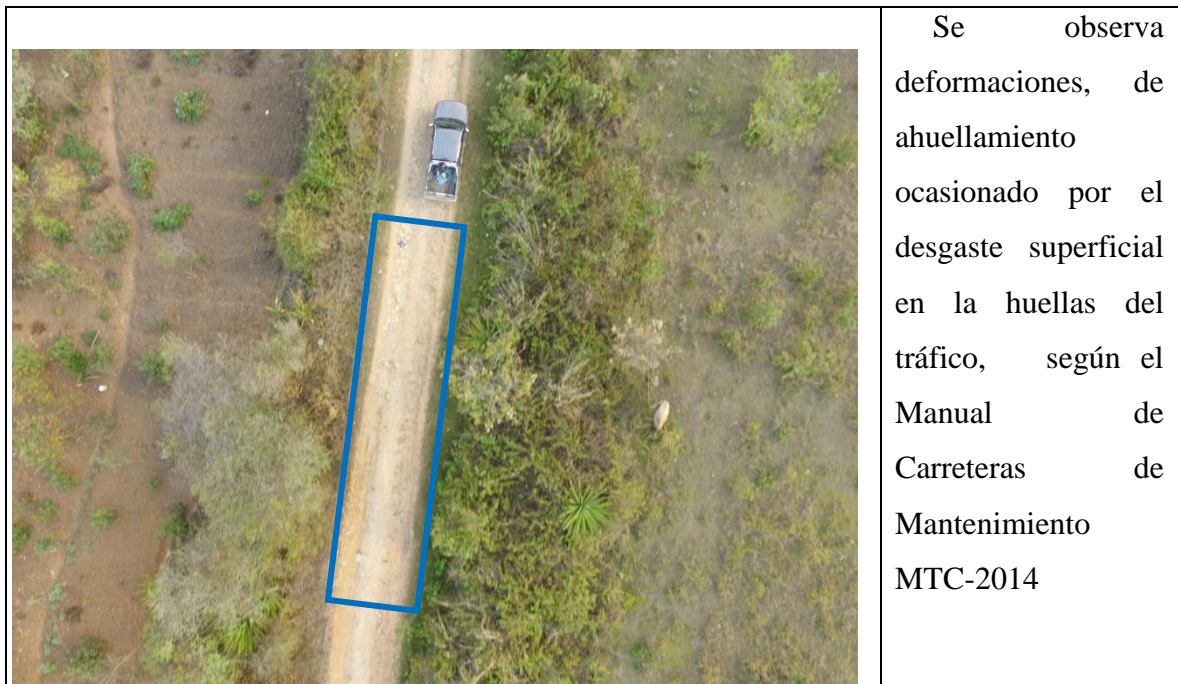


Figura N° 69: Ubicación de las fallas obtenidas por la cámara del dron

Fuente: Sr. Berlín Valle Gómez

Las fotografías obtenidas en campo de la carretera hacia el Mirador de Huancas Sonche fueron procesadas en gabinete mediante un equipo de cómputo (hardware) de 10ma generación equipado de una potente tarjeta de video para el procesamiento de imágenes, memoria RAM de 32 GB para la mejora del rendimiento, contando con capacidad de almacenamiento de información de 1 TB, y disco duro solido (SSD). Así mismo se procesó con el software Agisoft Metashape con el propósito de generar la ortofoto (Ver figura N°70) y los modelos digitales de elevación.

Debido a cantidad de información el hardware y software tardaron 7 horas en procesar la data y generar la ortofoto.

Luego de ser procesada se envió la información mediante una plataforma virtual, para ejecutar esta acción fue necesario la compresión de los archivos (fotos y ortofoto).

Debido a que los archivos tenían que ser comprimidos la resolución de las imágenes bajo significativamente, sin embargo, fue posible identificar las fallas en las fotografías enviadas.



Figura N° 70: Ortofoto del tramo de la carretera hacia el Mirador de Huancas Sonche
Fuente: Agisoft Metashape

Como se explicó en líneas anteriores el tiempo total empleado para el vuelo incluido la calibración, plan de vuelo, despegue-vuelo-aterizaje del dron fue de media hora (25 minutos) y procesamiento de 7 horas dándonos como resultado las fotografías donde se identifican las fallas, su respectiva ubicación y la ortofoto.

Debido al método de envío que fue por compresión de archivos, las fotografía y la ortofoto bajaron de calidad y resolución, por lo mismo no se logró generar los modelos digitales de elevación.

En ítems posteriores compararemos el Sistema de aeronaves pilotados remotamente (RPAs) con el método tradicional en Lima Provincia (Huaral)

5.4 Análisis de resultados

Debido a la ubicación para el vuelo del dron, se mostraron ciertos inconvenientes a lo largo del tramo.

En primer lugar, la alta densidad de vegetación impidió la altura adecuada puesto que los sensores propios del dron Phantom 4 pro impide volar cuando detecta posibles riesgos de colisión en este caso se obstaculizó volar debido a los árboles aledaños a la carretera, con lo que se tomó la decisión de tener un vuelo a mayor altura afectando el resultado final del estudio.

Para evitar estos riesgos de colisión o pérdida del equipo se realiza la actualización del software DJI Terra y el vuelo sea optimo, sin fallas inesperadas como por ejemplo alguna anomalía al momento del vuelo o que el software deje de funcionar repentinamente.

Según lo analizado y a pesar de los inconvenientes se concluye que el dron Phantom 4 Pro no intervino en los resultados en cuanto a fotografía y tiempo puesto que voló siguiendo un plan de vuelo con el software integrado DJI Terra ingresado los parámetros correspondientes como el traslape de 75 % entre fotos, velocidad de vuelo fue 15 km/h y la altura será mayor por los obstáculos que se encontraron en campo, en este caso la altura será de 35 metros.

Por otro lado, el sensor CMOS con el que viene integrado el dron Phantom 4 pro, y con el obstáculo de la altura anteriormente mostrado, se percibió la baja resolución en

el resultado de las fotografías sin embargo se puede identificar las fallas más resaltantes.

Para obtener óptimos resultados en cuanto a la toma de fotografías es necesario contar con un sensor más más preciso para un vuelo de mayor altura.

Con respecto a los huecos hallados en la ortofoto generada la cual se puede visualizar al lado derecho de la carretera (Ver figura N° 71), estas se deben al traslape, sin embargo, no afecta a la vía de estudio. En caso se viera afectada la zona estudiada debería realizarse un mayor porcentaje de traslape entre fotos para generar una nube de puntos con mayor densidad.



Figura N° 71: Huecos en la ortofoto generado por el traslape

Fuente: Agisoft Metashape

Para un mejor entendimiento sobre cómo opera el sensor, este trabaja de manera inversamente proporcional a la altura es decir a mayor altura existe menor resolución y directamente proporcional al píxel, a mayor altura mayor cantidad de píxel. Se deduce que el sensor interviene en la resolución de las fotografías.

Finalmente, los resultados en gabinete requieren de un extenso procesamiento de datos, en dónde tendrá que haber un ordenador dedicado para estos tipos de trabajo, el equipo para realizar este procesamiento fue el Lenovo Legion Y7000 el cual cuenta con características para tener velocidad y almacenamiento en el trabajo, junto al software Agisoft Metashape donde se procesaron las fotografías y nos dio de resultado final la ortofoto (Ver figura N° 72).

Posiciones de cámaras

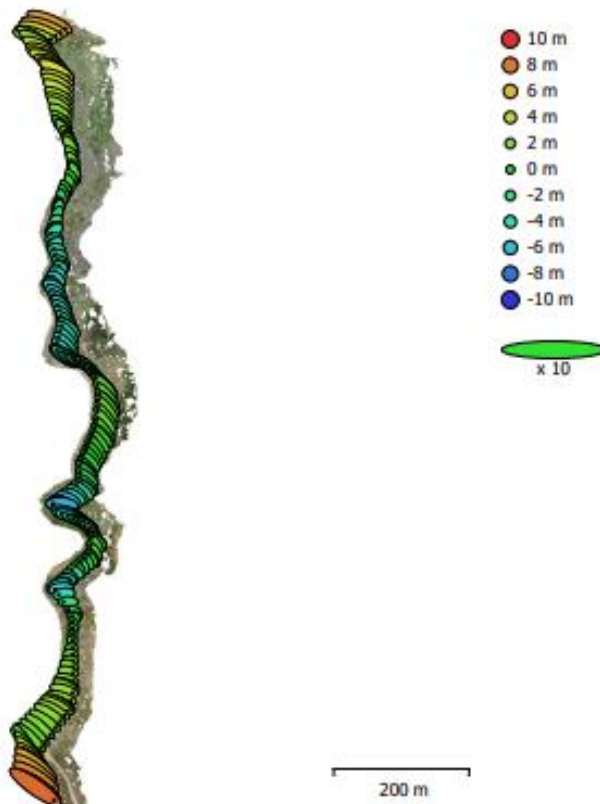


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
2.26002	1.69299	3.36801	2.82382	4.39516

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Figura N° 72: Posiciones de la cámara del drone Phantom 4 Pro

Fuente: Agisoft Metashape

Debido a los problemas coyunturales fue necesario el envío de datos por plataformas virtuales, esto conllevó a una menor calidad en cuanto a resolución, por otro lado, al obtener la ortofoto se verá mermado por los problemas mencionados con respecto a la resolución y se dificultará el reconocimiento de las fallas.

Tenemos que tener en cuenta el procesamiento para la parte final con respecto a los modelos digitales de elevación, que son los encargados de mostrar los volúmenes y geometría de la falla (niveles de severidad) en donde el tiempo está muy relacionado a la altura del vuelo del dron, en consecuencia, si el dron volara a una altura muy baja esto se vería afectado en el tiempo de procesamiento puesto que los niveles de pixeles serían muy elevados en todo caso se tendría que invertir en un ordenador más robusto para el procesamiento de la misma.

Se puede concluir que el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) en el que se seleccionó debido a sus características al dron Phantom 4 Pro con el sensor DJI Terra no intervino con respecto a los resultados, así también el sensor integrado CMOS el cual si intervino en cuanto a resolución puesto que el dron voló a mayor altura por obstáculos en la zona, y el procesamiento de la data por medio del hardware Lenovo Legion Y7000 y el software Agisoft Metashape con el posterior envío de información, intervino en la generación de ortofoto.

5.5 Contratación de hipótesis

5.5.1 Hipótesis específicas

5.5.1.1 Hipótesis Específica 1

Hipótesis alterna H-1:

Aplicando el dron Phantom 4 Pro se reduce en un 30 % el tiempo de recorrido para el levantamiento de inventario vial superficial en carretas de bajo volumen.

Hipótesis nula (H₀):

Aplicando el dron Phantom 4 Pro no se reduce en un 30 % el tiempo de recorrido para el levantamiento de inventario vial superficial en carretas de bajo volumen.

Se aplicó el dron Phantom 4 porque reúne las mejores condiciones en cuanto a sus características como la robustez del chasis, batería de 6000 mAH, a comparación de otros drones de gamma intermedia.

Se aplicó en la carretera Mirador de Huancas Sonche que nos demandó un tiempo de vuelo de 25 minutos incluido la calibración, plan de vuelo, despegue-vuelo del drone-aterrizaje.

Durante el curso de caminos rurales se realizó el levantamiento en Lima Provincias de la carretera LM-674 ubicado en la Av. Esquivel (Ver figura N° 73), el tiempo de recorrido entre las coordenadas de inicio Este: 2560666.00 m E, Norte: 8727329.00 m S hasta la coordenadas finales Este: 254441.00 m E, Norte: 8729810.00 m S, fue de 1 hora y 30 minutos, tomando en cuenta que teóricamente una persona camina a 4km/h adicionalmente se tuvo que realizar una serie de procedimiento: detectar las fallas, realizar las mediciones, toma de fotografías.

Analizando en 1km de carretera comparando el método tradicional con el drone se obtuvo tiempos de 90min y 25 min respectivamente y esto equivale al 28%. Por lo tanto, se reduce el tiempo en un 72% es decir 65 min.



Figura N° 73: Foto grupal en la carretera LM-67

Fuente: Informe final del Curso de Caminos Rurales

Según cruz (2019) se evaluó una carretera e 510 metros en 7 minutos y el personal fue conformada por un operador y un asistente donde se obtuvo imágenes georreferenciadas.

Según Fiestas, C., Merino, F. (2020) el uso del drone ha permitido reducir los tiempos en la toma de datos de ampo. En este trabajo se necesitó alrededor de 40 minutos para una inspección de 2 kilómetros aproximadamente.

Por lo tanto, la hipótesis alterna es válida y se rechaza la hipótesis nula.

5.5.1.2 Hipótesis específica 2

Hipótesis alterna H-2:

Aplicando el sensor CMOS en el RPAS se reduce en un 5 % el tiempo de captura de imágenes para el levantamiento de inventario vial superficial en carretas de bajo volumen.

Hipótesis nula (H₀):

Aplicando el sensor CMOS en el RPAS no se reduce en un 5 % el tiempo de captura de imágenes para el levantamiento de inventario vial superficial en carretas de bajo volumen.

Se usó la cámara integrada al drone cuyo sensor es CMOS RGB.

En dónde a pesar de ser una de las variables críticas en la realización del trabajo en general, presenta una nula intervención en cuanto al tiempo dado que no presenta velocidad ni procesamiento, pilares importantes para deducir la variable en cuestión.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis alterna y se valida la hipótesis nula.

5.5.1.3 Hipótesis específica 3

Hipótesis alterna H-3:

Aplicando el hardware Lenovo Legion Y7000 software Agisoft Metashape se reduce en un 25 % el tiempo de procesamiento de datos para el levantamiento de inventario vial superficial en carretas de bajo volumen.

Hipótesis nula (H₀):

Aplicando el software Agisoft Metashape no se reduce en un 25 % el tiempo de procesamiento de datos para el levantamiento de inventario vial superficial en carretas de bajo volumen.

Se aplicó el hardware Lenovo Legion Y7000 debido a que tiene características óptimas para el procesamiento de datos como un procesador Core i7, una tarjeta de video capaz de procesar imágenes en 4k, disco duro SSD y tarjeta de memoria RAM de 16 GB la cual puede ser cambiada por una de 32 GB y es económicamente más accesible.

Este hardware fue comparado con otros equipos de cómputo siendo el que reunía las características deseadas para el procesamiento de datos.

Se aplicó el software Agisoft Metashape ya que esta aplicación reúne los componentes para el procesamiento de datos. Generando la ortofoto y los modelos digitales de elevación.

El tiempo que se demoró en procesar la información de la carretera hacia el mirador de Huancas-Sonche fue de 7 horas.

En el curso de caminos rurales se evaluó 3000 metros (3 kilómetros) del tramo de la carretera LM-674 (Ver figura N° 74) por 6 integrantes agrupados en grupo de 2, a cada grupo le toco 1km de la carretera.



Figura N° 74: Medición de la falla

Fuente: Informe final del Curso de Caminos Rurales

La carretera de bajo volumen presentó fallas las cuales se evaluaron mediante el método tradicional (URCI). Donde se analizó cada falla, realizaron tomas de fotografía y mediciones para llenar los formatos (Ver figura N° 75) y realizar los posteriores cálculos e informe lo que tomó un tiempo de 10 horas. Por lo tanto, se redujo el tiempo en 30 % es decir se ahorró 3 horas de procesamiento con un mayor tiempo de análisis para las fallas.



Figura N° 75: Llenado de formatos método URCI

Fuente: Informe final del Curso de Caminos Rurales

Según Cruz, J. (2019) Se procesó imágenes empleando el software Pix 4D mapper con salida el modelo digital de superficie en 3 y el ortomosaico para proceder a la inspección de la vía.

Según Fiestas, C., Merino, F. (2020) El trabajo se desarrolla en gabinete, se representan en modelos digitales y se puede tener mayor tiempo de análisis.

Por lo tanto, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

CONCLUSIONES

1. Se determinó el sistema de aeronaves pilotadas remotamente, con el drone Phantom 4 pro, el sensor CMOS, hardware Lenovo Legion Y7000 y software Agisoft Metashape que permitió reducir el tiempo de levantamiento de inventario vial en 70% aplicándolo a una vía de bajo volumen.
2. Se identificó el drone Phantom 4 Pro entre 5 modelos de drones como el modelo de vuelo por las características acorde al trabajo a realizar en carreteras de bajo volumen, el mismo que reduce un 72% en tiempo
3. Se identificó el sensor como el RGB CMOS, que con sus atributos de alta resolución nos permitirá observar un mayor detalle en fotografías generadas por la cámara. Cabe mencionar que la cámara viene integrada a este modelo del drone.
4. Se determinó el hardware y software, seleccionando como hardware al Lenovo Legion Y7000 debido a los atributos que presenta y económicamente accesible por otro lado para el caso del plan de vuelo existe un software predeterminado llamado Terra, y el software de gabinete será el Agisoft capaz de mostrar la ortofoto y los modelos digitales necesarios para la detección de fallas.
5. El hardware y software nos permitió reducir el tiempo de levantamiento de inventario vial en 30% aplicándolo a una vía de bajo volumen.
6. Los obstáculos encontrados en el vuelo fue la densidad de árboles que impidió la altura de vuelo deseada, posteriormente el envío de la información fue comprimido lo que comprometió un nivel de resolución.
7. El empleo del sistema de aeronaves pilotada remotamente posibilita el levantamiento de información en corto tiempo, no fue necesario la interrupción de tráfico en consecuencia no se pone en riesgo la vida de los operadores a comparación con el método tradicional.
8. El método RPAs posibilita la reducción del personal de campo en comparación con el método tradicional por ende minimiza los costos de evaluación.

RECOMENDACIONES

Teniendo en consideración la coyuntura actual del COVID-19 el trabajo de campo no estuvo permitido. Para poder validar la presente tesis se recomienda:

1. La aplicación de la presente tesis para los futuros tesisistas, el mismo que puede ser aplicado en Lima Provincias.
2. Utilizar el drone Phantom 4 Pro en zonas despejadas, a una altura entre 15 y 20 metros para obtener una mejor calidad, resolución en las fotografías y la detección óptima de las fallas.
3. Al realizar los vuelos sobre vegetación densa se utilice un drone cuya cámara posea un sensor más sensible para que la fotogrametría sea detallada y posteriormente se analice en gabinete.
4. Procesar la data obtenida en campo usando el hardware y software en la presente tesis para su validación.
5. Que en coordinación con la escuela de Ingeniería de sistemas se cree un software para calcular y procesar las fallas.
6. Aplicar el Sistema de aeronaves pilotados remotamente en la provincia de Huaral, para compararlos en base al tiempo empleado, con el trabajo realizado en campo durante el curso de caminos rurales en la carretera LM-674 y darle continuidad a la presente tesis.
7. Realizar el vuelo entre las 8 de la mañana a 3 de la tarde que es el intervalo de tiempo donde es posible captar una mejor toma de fotografías debido a la luz solar y para evitar las sombras generadas después de este rango de horario.
8. A pesar de los impedimentos identificados en el análisis de resultados identificados se puede dar una solución, y es mediante el pilotaje manual, es decir el RPAs ya no funcionará autónomamente sino el piloto será el encargado del recorrido del drone, solo mediante este desenlace se podrá alcanzar la altura deseada sin embargo se tendrá en cuenta la duración de batería puesto que se consume en mayor medida.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aerial Insights (2017) *6 aplicaciones para planificar el vuelo de tu drone*
<https://www.aerial-insights.co/>
- Aguirre de Mata, J. (2016) *Calibración geométrica de cámaras no métricas. Estudio de metodologías y modelos matemáticos de distorsión.* (Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid).
<https://core.ac.uk/download/pdf/148679328.pdf>
- Arriola S., Ferencz, A., Rimolo-Donadio, R. (2018) *Investiga Tec, Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos no tripulados.* 9-12
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9588>
- Asociación mundial de carreteras (2018) *El uso de sistemas aéreos no tripulados para recopilar datos a distancia para la infraestructura de carreteras.*
<Http://www.piarc.org>
- Brooks, C., Dobson, R., Banach, D., Oommen, T., Zhang, K., Mukherjee A., Havens T., Ahlborn T., Escobar-Wolf R., Bhat C., Zhao S., Lyu Q. y Marion N. (2018) *Implementación de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) para la valuación de la Infraestructura de Transporte - Fase II*
<https://www.sciencedirect.com/>
- Casazola, M. (2019) *Los mejores equipos de cómputo portátiles para la realización de edición de video.*
<https://www.qempo.com.pe/>
- Costales, G., (2018). *Análisis comparativo entre los software de prueba Agisoft Photoscan y Pix4D para el procesamiento de datos obtenidos con fotogrametría de vehículo aéreo no tripulado (UAV) de bajo costo aplicado a proyectos de medio ambiente* [Tesis de titulación, escuela politécnica nacional]
<https://bibdigital.epn.edu.ec/>
- Cuerno-Rejado, C., Garcia-Hernandez, L., Sánchez-Carmona, A., Carrio-Fernandez, A., Sanchez-Lopez, J., Campoy-Cervera, P. (2016). *Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad.* *Dyna*, 91(3). 282-288.
<http://dx.doi.org/10.6036/7781>

- Cruz, J. (2018) *Cálculo del índice de condición del pavimento con imágenes del vehículo aéreo no tripulado* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Ingeniería]
- Cruz y Gutiérrez (2019) *Evaluación superficial de vías urbanas empleando vehículo aéreo no tripulado (VANT)* Universidad de Costa Rica Vol.8
<https://revistas.ucr.ac.cr/>
- De la Serna, I. (2018) *Plan estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España*
<https://www.fomento.gob.es/>
- Delgado, V. (29 de mayo del 2016) *Historia de los drones. Rastreador.*
<http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
- DeCamaras fotografía digital (2020) *cuantas fotos cabe en una cámara digital*
<https://www.decamaras.com/>
- DJI (2020) *Mavic 2 vea el panorama más amplio*
<https://www.dji.com/>
- Dobson, R. Brooks, C. Roussi, C. Colling, T. (2013) *Desarrollo de un sistema de evaluación de carreteras sin pavimentar para un despliegue práctico con recopilación de datos ópticos de alta resolución utilizando un helicóptero UAV.*
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6564695>
- El 80% de carreteras del país están en mal estado.* (17 de marzo del 2019). Exitosa.
<https://exitosanoticias.pe/>
- Esteban, J. con colaboración de la fundación de la energía de la comunidad de Madrid y la comunidad de Madrid (2015) *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil.*
<https://www.fenercom.com/>
- Eulises, A. (23 de abril 2020) *¿Cómo funcionan los servidores virtuales?*
<https://www.hostdime.com.pe/>
- Falta de carreteras representan el 20% de la brecha total de infraestructura en el país.* (05 de junio del 2016). Gestión.
<https://gestion.pe/>
- Fiestas, C. y Merino, F. (2020). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco - Piura usando drones* [Tesis de Titulación, Universidad de Piura].
<https://pirhua.udep.edu.pe/>

- Fisher, J. (12 de mayo del 2020). *El mejor dron para el 2020*
<http://www.pcmag.com/>
- Florentino, R. (2017) *Aplicación de fotogrametría con RPAs para mejorar la efectividad en cuantificación de la explotación en la antera Santa Genoveva – 2016* [Tesis de Titulación, Universidad de Cesar Vallejo].
<http://repositorio.ucv.edu.pe/>
- FranLora (29 de Mayo2020). *Top Fotografía, el Sensor CMOS.*
<http://www.topfotografia.net/>
- Gonzales, G. (15 de febrero 2015) *¿Qué es una unidad de estado sólido y porque es mejor que un disco duro?*
<https://blogthinkbig.com/>
- Guzmán, J., Patermina, J., Rodríguez, J. (2018) *Estudio comparativo de aplicaciones móviles (APP), en el error de medición con aeronaves pilotadas a distancia.*
<https://publicacionesfac.com/>
- Hernández, R., (2014) *Metodología de la Investigación*
<http://observatorio.epacartagena.gov.co/>
- Herrera J y Serna I. (2017). *Metodología para la detección de huecos o baches en vías terciarias urbanas a partir de imágenes de alta resolución espacial, usando técnicas de GEOBIA y lógica difusa.* [Tesis de titulación, Universidad distrital Francisto José de Caldas]
<https://pdfs.semanticscholar.org/>
- Instituto Peruano de Economía (2017). *¿Hacia Dónde Va La Infraestructura Del Transporte En El Perú?* Lima, Perú. Recuperado de <https://www.ipe.org.pe/>
- Jalayer, M., Zhou, H., Gong, J., Hu, S. y Grinter, M. (2014) Foro de investigación del transporte. *Una evaluación completa de los métodos de recopilación de datos de inventario de carreteras.* Vol.53. 73-92
<https://trforum.org/>
- Lazarte, J. (abril-julio 2016). *Problemática de las carreteras vecinales en el Perú. Viabilidad y Transporte Latinoamericano- Problemática y soluciones Carretera Central,* 46-50
<https://ilievlima.org/>

- Leguizamo, P., (2007) *Instituto Nacional de Vías, Instructivo para la inspección visual y la evaluación de los deterioros de los pavimentos asfálticos de carreteras, Anexo B.*
<https://www.academia.edu/>
- Macedo Sotelo, R. C. (2019). *Inventario de la condición superficial con fines de mantenimiento de la carretera departamental no pavimentada ruta AN-106, tramo Vaqueria-Yanama, aplicando el manual de mantenimiento o de conservación vial del MTC, año 2017* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].
<http://repositorio.unasam.edu.pe/>
- Manual de carreteras conservación vial (2013) *Aspectos conceptuales, niveles de servicio, inventario de condición.* Vol 1. 16-105
<http://transparencia.mtc.gob.pe/>
- Manual de Carreteras de Mantenimiento o conservación vial MTC (2014) *Capitulo 4: Inventario de condición.* 74-79
<https://portal.mtc.gob.pe/>
- Martorell, A. (2020) *Cual es la mejor PC para la fotogrametría?*
<https://geoinnova.org/>
- Mat A., Nizama, K. (2019) *Identificación de baches mediante el uso de una antena no tripulada multirootor vehículo (UAV)*
<https://www.sciencedirect.com/>
- Medina, J. (18 de abril de 2012). *¿Sensor CCD o CMOS? ¿Qué significa todo esto?* Paréntesis. Recuperado de <https://www.parentesis.com/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015). *Inventario vial para planificación vial estratégica de la red vial vecinal o rural de los gobiernos locales.* Manual de Inventarios viales. 2-34.
<https://www.gob.pe/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) *Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia*
<https://portal.mtc.gob.pe/>

- Mitten Salhuana, M. A. (2012). *Procedimiento de inspección e inventario de obras de arte - carretera Cañete - Lunahuaná en el tramo km 29+000 al km 31+000*.
<https://alicia.concytec.gob.pe/>
- Morales, M. (2019) *Comparación de los métodos PCI y VIZIR en la evaluación de fallas del pavimento flexible de la avenida Aviación de la ciudad de Juliaca* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Peruana Unión
<https://repositorio.upeu.edu.pe/>
- Ordoñez (2017). *Brecha de Infraestructura: Situación Actual en el Perú*. Costos, edición 279, 22-25.
<https://es.calameo.com/>
- Parra R. (2019). *Modelo analítico de los parámetros para la Fotogrametría con drones en obras viales* [Tesis de Maestría, Universidad peruana Los Andes]
<http://repositorio.upla.edu.pe/>
- Rojas, H. (2012). *Ejecución del inventario vial georreferenciado de Piura y propuesta de optimización de metodologías existentes* [Tesis para optar el grado de master en Ingeniería civil con medición en ingeniería vial, Universidad de Piura]
<https://pirhua.udep.edu.pe/>
- Salvatierra, V. (2017) *Estrategias óptimas para la conservación y desarrollo vial por niveles de servicio, de superficie de rodadura asfálticas en carretera del Perú* [Tesis para optar el grado de maestro en transportes y conservación vial, Universidad privada Antenor Orrego]. Recuperado de <http://repositorio.upao.edu.pe/>
- Sánchez, G., Mulero, M y Saumeth, E. (2013). Vehículos Aéreos no Tripulados. *Vehículos aéreos no tripulados en Latinoamérica*, 08-11.
<https://www.infodefensa.com/>
- Shaghilil N. Khalafallah A. (2018). *Automatización del mantenimiento de la infraestructura de carreteras mediante vehículos no tripulados*.
<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784481295.049>

- Sierra, C., Rivas, A. (2016) *Aplicación y comparación de las diferentes metodologías de diagnóstico para la conservación y mantenimiento del tramo PR 00+000 – PR 01+020 de la vía al llano (DG 78 bis sur – calle 84 sur) en la UPZ Yomasa* [Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad Católica de Colombia] <https://repository.ucatolica.edu.co/>
- SIG Arteaga (2017) *Modelos digitales de elevación (DEM/TIN/DSM) SIG* <https://www.youtube.com/>
- Tacca, H. (2015). *Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional*. Tesis para optar el título de Ingeniero Topógrafo y Agrimensor- Universidad Nacional del Altiplano, PUNO. <http://repositorio.unap.edu.pe/>
- Urbano, K., Vargas, M. (2019). *El estado de condición de una carretera no pavimentada y los tipos de intervención, aplicando MTC, URCI, TMH-12 de la ruta LM -580* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma]. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784481295.049>
- Vargas C. (2018). *Análisis Comparativo De La Inspección Visual De Un Pavimento Flexible, Por Los Métodos Tradicional Y Por Sensores Remotos En Un Kilómetro De La Calle Séptima En El Municipio De Cajica Cundinamarca*. <https://repository.unimilitar.edu.com/>
- Vas, E. (2019) *Mavic 2 Pro vs Phantom 4 Pro – Español 2019* https://www.youtube.com/watch?v=XdRDZkRyh_A
- Vazquez, J. y Backhoff, M, (2017). *Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte* <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>
- Vértiz, M. (2019) *Implementacion de VANT (vehículos aéreos no tripulados) ”drones en la ingeniería de vías terrestres* [Tesis para obtener el grado de maestría-Universidad Nacional Autónoma de México]. Recuperado de <http://oreon.dgbiblio.unam.mx/>

Zafra, Y. (2018) *Manual para el postproceso de imágenes obtenidas a partir de una aeronave tripulada remotamente (DRONE) en los software Agisoft Photoscan y Pix4D*. Invias-Universidad Distrital Frnacisco José de Caldas.

<http://repository.udistrital.edu.co/>

Zelada, E., Roncal, M., Rosado, G. (2018) *Consideraciones en el empleo de vehículos aéreos no tripulados y preparación del comando de apoyo al desarrollo nacional del ejército ante desastres naturales*. Escuela superior de guerra del ejército.

Repositorio.esge.edu.pe/

Zhang, C. (2009). "*Supervisión del estado de carreteras sin pavimentar con teledetección y otra tecnología* "

file:///C:/Users/eduardo%20pe%C3%B1a/Downloads/dot_36464_DS1.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INDICES
Problema General	Objetivo General	Hipótesis Principal	Variable Independiente		
¿En qué medida se aplicaría el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen?	Determinar el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs), el tipo de dron, el tipo de sensor, el hardware y software para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen.	Aplicando el dron Phantom 4 Pro, sensor CMOS, hardware Lenovo y software Agisoft Metashape como sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs), reduce en un 70 % el tiempo de levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen.	Sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS)	Tipo de dron	COSTO Y TIEMPO
				Tipo de sensor	COSTO Y TIEMPO
				Tipo de hardware y software	COSTO Y TIEMPO
Problema Específico 1	Objetivo Específico 1	Hipotesis Secundaria 1	Variable Dependiente		
¿Cuáles son los tipos de drones que se pueden usar para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial de una carretera de bajo volumen?	Identificar el tipo de dron a usar para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial de una carretera de bajo volumen	a) Aplicando el dron Phantom 4 Pro se reduce en un 72 % el tiempo de recorrido para el levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen.	Levantamiento de inventario vial	Índice de condición (Tipo de falla, severidad y cuantificación)	BUENO
Problema Específico 2	Objetivo Específico 2	Hipotesis Secundaria 2			REGULAR
¿Cuáles son los tipos de sensores para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial en carreteras de bajo volumen?	Identificar el tipo de sensor para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial en carreteras de bajo volumen	Aplicando el sensor CMOS en el RPAS se reduce en un 5 % el tiempo de captura de imágenes para el levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen.			
Problema Específico 1	Objetivo Específico 3	Hipotesis Secundaria 3			MALO
¿Cuál es el tipo de hardware y software para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial en carreteras de bajo volumen?	Determinar el tipo de hardware y software para reducir el tiempo del levantamiento de inventario vial en carreteras de bajo volumen.	Aplicando el hardware Lenovo y software Agisoft Metashape se reduce en un % el tiempo de procesamiento de datos para el levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen.			

INFORME DE CAMINOS RURALES

Curso : CAMINOS RURALES

Tema : PLAN VIAL HUARAL

Docentes : Ing. Arévalo Lay Víctor Eleuterio

Alumno : Fernández Diana
Negrón, Alina Dellanira
Sarabia Ronald
La Torre Díaz Jim
Guerra Joselyn
Peña Carbajal Edu

Fecha de Entrega : 11-10-19

LIMA-PERU

2019-II

PANEL FOTOGRÁFICO

Se tomó la muestra de 3000 metros para la carretera LM 674

1. El tramo de nuestra fue en la Av. Esquivel, lo cual recorrimos unos 3 kilómetros, los tramos fueron distribuidos en 6 por la cantidad de integrantes en el grupo. Se realizaron los métodos estimados como URCI.



2. Se contabilizo cada auto, camión o coche que se circuló ese día en el transcurso que tomábamos datos el primer carro paso a las 12:10 y el último paso a las 5:00pm.

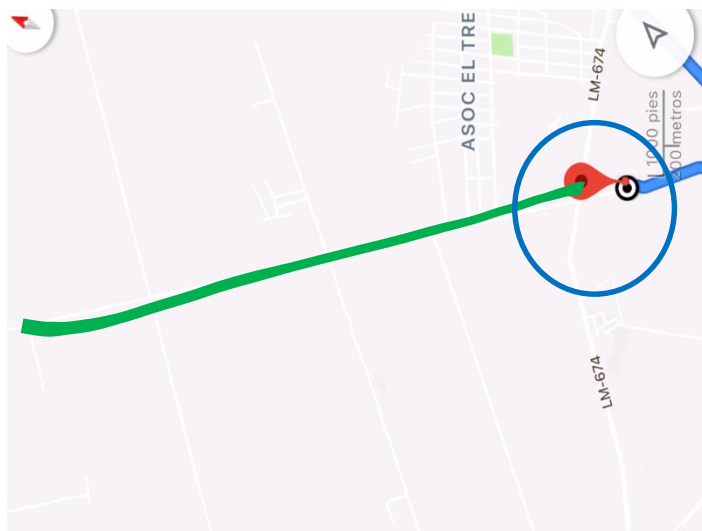


3. Se procedió a preguntar a la gente local sobre los cambios de la carretera LM 674, el tráfico diario y la temporada de mayor demanda vehicular.



4. Los datos fueron tomados a partir del punto de inicio hasta el punto final, las coordenadas son las siguientes:

COORDENADAS DE INICIO	COORDENADAS DE LLEGADA
Este: 2560666.00 m E	Este: 254441.00 m E
Norte: 8727329.00 m S	Norte: 8729810.00 m S



5. Se realizó un cartagoneo de pasos concluyendo que cada 17 pasos son 10 metros para facilitar el trabajo.



6. Se tomaron datos cada 40 metros de acorde al método URCI y los datos fueron tomados en un formato que está adjunto al informe.



7. Se reconocieron las fallas existentes de cada tramo según el manual URCI identificando los puntos más críticos.



8. Se procedió a tomar fotos de los carros al pasar para poder hallar la severidad del polvo que se levanta.



9. Se tomaron las mediciones para cada falla por tramo de acorde a lo pedido en el URCI para poder hallar los cálculos necesarios



Agisoft Metashape

Informe de procesamiento

19 October 2020



Datos del levantamiento

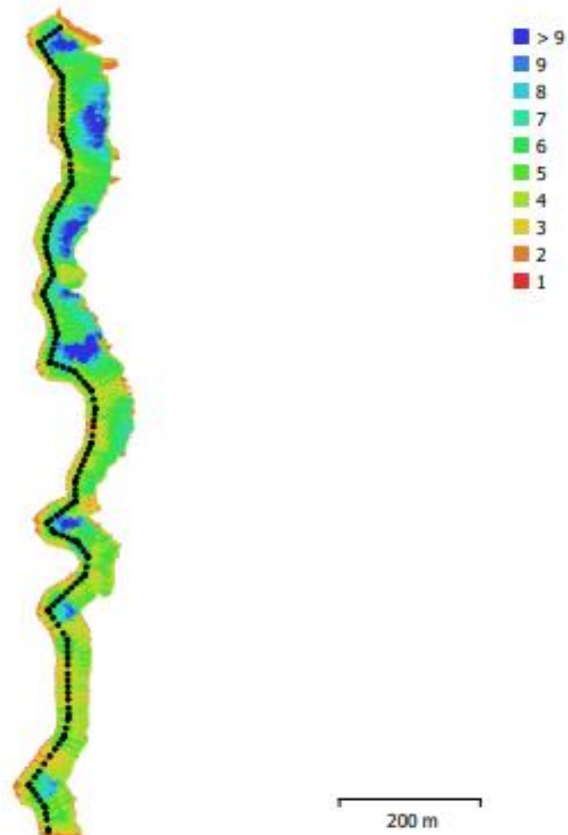


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 181
Altitud media de vuelo: 31.6 m
Resolución en terreno: 1.23 cm/pix
Área cubierta: 0.0829 km²

Imágenes alineadas: 181
Puntos de paso: 170,133
Proyecciones: 408,640
Error de reproyección: 0.781 pix

Calibración de cámara

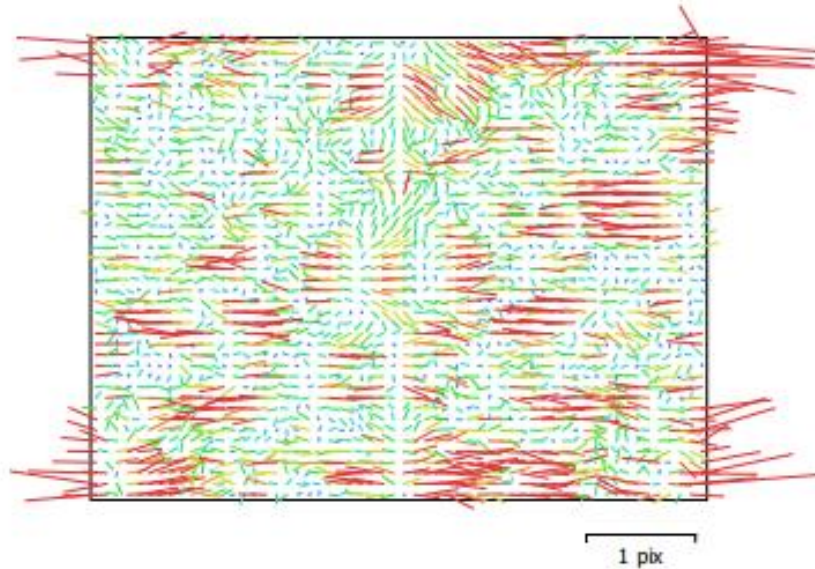


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC300XW (3.61mm).

FC300XW (3.61mm)

181 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 micras

Posiciones de cámaras

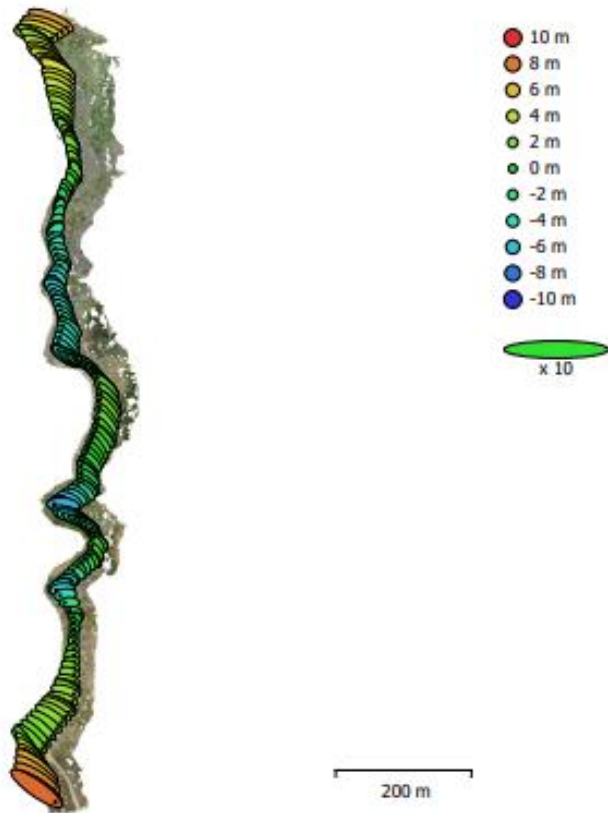


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
2.26002	1.69299	3.36801	2.82382	4.39516

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.