



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA CON RPA, PARA ANALIZAR LA CALIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CARRETERA LIMA-CANTA - HUALLAY, TRAMO LAGUNA 7 COLORES - FANTASMA CORDILLERA LA VIUDA – 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Karem Fiorella Falcon Mendoza

Nilo Salomon Ramon Flores

Asesor:

Ing. Edmundo Vereau Miranda

<https://orcid.org/0000-0003-1984-1734>

Lima - Perú

2023

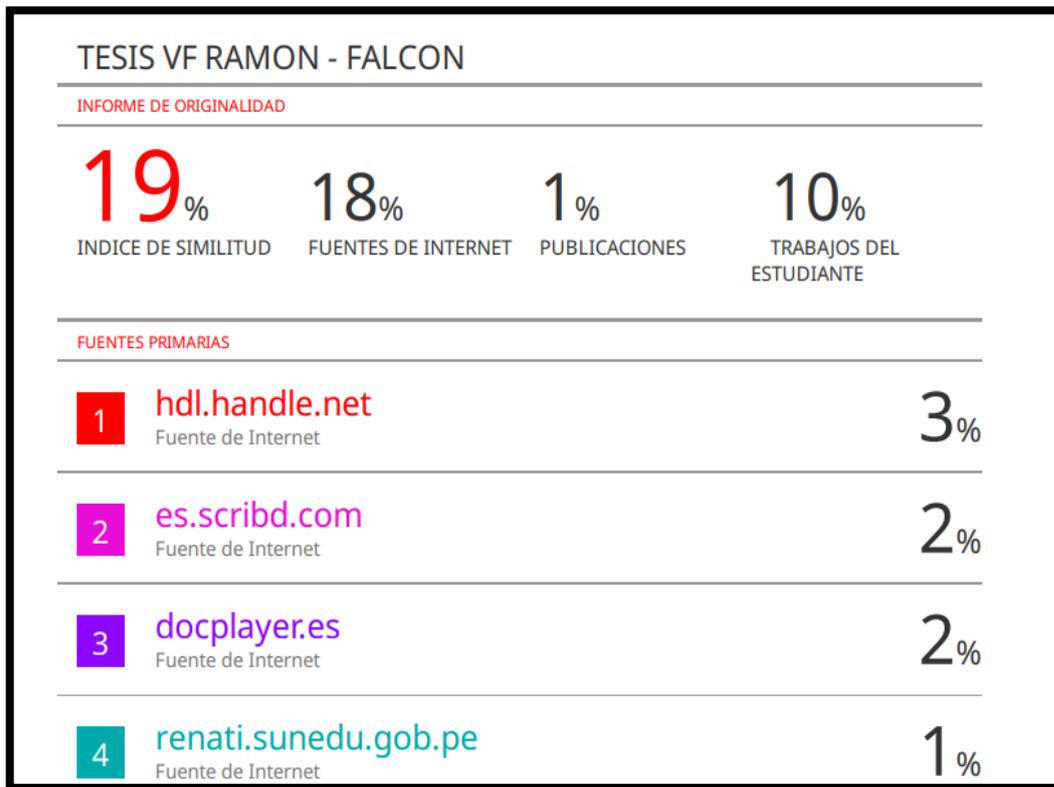
Jurado calificador

Presidente(a) del Jurado	JOSE LUIS NEYRA TORRES	21454204
	Nombre y Apellidos	Nro. Colegiatura o DNI

Miembro del Jurado	ERICK HUMBERTO RABANAL CHAVEZ	42009981
	Nombre y Apellidos	Nro. Colegiatura o DNI

Miembro del Jurado	NEICER CAMPOS VASQUEZ	42584435
	Nombre y Apellidos	Nro. Colegiatura o DNI

Informe de similitud



Dedicatoria

Dedicamos nuestra tesis principalmente a Dios quien me dio la fuerza necesaria para alcanzar esta meta.

A nuestros padres por todo su cariño y motivación para seguir adelante.

También a nuestra familia por el apoyo moral durante las noches que tuvimos que investigar.

Agradecimientos

Un sincero agradecimiento al Ing. Edmundo Vereau Miranda por sus enseñanzas en todo el proceso de investigación de la presente tesis. Además, a la Universidad Privada del Norte por impartirnos conocimientos en el programa Working Adult en la carrera de Ingeniería Civil.

Índice

Jurado calificador	2
Informe de similitud	3
Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
Índice	6
Índice de Figuras	10
Índice de Tablas	13
Resumen	14
Abstract	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
Realidad Problemática	16
Base Teórica	18
Fotogrametría	18
Aeronaves Controladas por Control Remoto (RPA)	23
Consideraciones para el vuelo del RPA	28
Planificación de Vuelo	32
Software de Procesamiento de Imágenes (Agisoft Metashape)	35
Software de Diseño Civil (AutoCADCivil 3D)	36
Pavimento Flexible	36
Fallas en el Pavimento	37

Serviciabilidad – Regularidad Superficial	37
Niveles de Servicio	38
Antecedentes	40
Antecedentes Internacionales	40
Antecedentes Nacionales	42
Formulación del Problema	43
Problema General	43
Problemas específicos	43
Objetivos	44
Objetivo general	44
Objetivos específicos	44
Hipótesis	44
Hipótesis general	44
Hipótesis específicas	45
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	46
Tipo de investigación	46
Diseño de la investigación	46
Población y Muestra	47
Unidad de Estudio	47
Población	47
Muestra	47

Técnicas, Instrumentos y Procedimiento de Recolección de Datos	48
Técnicas de Recolección de Datos	48
Instrumentos	48
Procedimientos de Recolección de Datos	49
Para Analizar los Datos	54
Elaboración de Mapa de Zonificación	54
Aspectos Éticos	55
CAPÍTULO III: RESULTADOS	58
Técnicas e Instrumentos para la Recolección y Análisis de Datos.	58
Procedimiento.	61
Análisis de campo y reconocimiento del lugar de vuelo.	61
Etapas de Levantamiento Fotogramétricos.	63
Recorrido del Plan de Vuelo y Seguimiento.	65
Índice de calidad del pavimento usando el ortomosaico	94
Deterioros o Fallas Estructurales	95
Deterioro / falla 1: Piel de cocodrilo	95
Deterioro / falla 2: Fisuras longitudinales	96
Deterioro / falla 3: Deformación por deficiencia estructural	96
Deterioro / falla 4: Ahuellamiento	97
Deterioro / falla 5: Reparaciones o parchado	98
Deterioros o Fallas Superficiales	99

Deterioro / falla 6: Peladura y desprendimientos	99
Deterioro / falla 7: Baches (Huecos)	99
Deterioro / falla 8: Fisuras transversales	100
Capítulo IV: Discusión y Conclusiones	103
Discusión	103
Conclusiones	104
Referencias	105
Anexos	116
Anexo A. Especificaciones técnica del RPA Autel Evo 2 Pro	117
Anexo B. Informe de procesamiento	123
Anexo C. Exportación de puntos a formato a Auto Cad (DXF)	130

Índice de Figuras

Figura 1 Ejemplo de fotogrametría aplicada en carreteras	19
Figura 2 Ejemplo de fotogrametría usando drones	20
Figura 3 Ejemplo de vista estereoscópica	22
Figura 4 Ejemplo de estereoscopia	23
Figura 5 RPA de ala fija	25
Figura 6 RPA multirrotos	26
Figura 7 Proceso de vuelo de RPA con tecnología RTK y PPK	28
Figura 8 Diferencia en la resolución espacial de las imágenes.	29
Figura 9 Determinación de GSD	30
Figura 10 El vuelo sigue la variación del terreno	33
Figura 11 El vuelo a diferentes alturas constantes	33
Figura 12 El vuelo a única altura	34
Figura 13 Área de análisis en función de la distancia focal y altitud	35
Figura 14 Mapa de zonificación	54
Figura 15 Mapa de zonificación -Laguna los 7 colores	55
Figura 16 progresiva.	58
Figura 17 Localización y ubicación del lugar de estudio.	59
Figura 18 Instrumentos del DRON evo 2 pro	60
Figura 19 Reconocimiento del área análisis del pavimento en la carretera	63
Figura 20 Inicio de plan de vuelo y programación	64
Figura 21 Despegue del DRON	65
Figura 22 Seguimiento del plan de vuelo	66
Figura 23 Retorno de la misión a casa	67
Figura 24 Programación de vuelo 1	68

Figura 25 Velocidad GSD	68
Figura 26 Visualización de superposición	69
Figura 27 Visualización solapamiento lateral	69
Figura 28 Programación de vuelo 2	70
Figura 29 Velocidad GSD	71
Figura 30 Visualización de superposición	71
Figura 31 Visualización solapamiento lateral	72
Figura 32 Programación de vuelo 3	72
Figura 33 Velocidad GSD	73
Figura 34 Visualización de superposición	74
Figura 35 Visualización solapamiento lateral	74
Figura 36 Ventana principal.	75
Figura 37 Ventana principal.	76
Figura 38 Carpeta de imágenes	77
Figura 39 Fotos Carpeta 1	78
Figura 40 Fotos carpeta 2	78
Figura 41 Fotos carpeta 3	79
Figura 42 Fotos carpeta 4	80
Figura 43 Fotos carpeta 5	80
Figura 44 Orientación de fotos	81
Figura 45 Orientación de fotos	82
Figura 46 Orientación de fotos	82
Figura 47 Procesamientos generales	83
Figura 48 Nube de puntos densa	83
Figura 49 Resultado de nubes punto densa.	84

Figura 50 Crear malla	85
Figura 51 Resultado de creación de malla	86
Figura 52 Crear textura	86
Figura 53 Resultado de textura	87
Figura 54 Creación de modelo teselas	87
Figura 55 Modelo de teselas	88
Figura 56 Resultado creación de teselas	89
Figura 57 Creación MDE	89
Figura 58 Resultado MDE	91
Figura 59 Crear Ortomosaico.	91
Figura 60 Creación de ortomosaico	92
Figura 61 Resultado ortomosaico.	93
Figura 62 Imagen georreferenciada	93
Figura 63 Falla piel de cocodrilo	96
Figura 64 Detección de falla por ahuellamiento	98
Figura 65 Detección de falla por reparaciones o parchado	99
Figura 66 Falla hundimiento	100
Figura 67 Falla superficial drenaje	101
Figura 68 Falla ruptura de bordes.	101
Figura 69 Falla lomo de corvina	102

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Diagrama de flujo</i>	50
Tabla 2 <i>Diagrama de ubicación de punto de control</i>	51
Tabla 3 <i>Diagrama de planteamiento de vuelo</i>	52
Tabla 4 <i>Diagrama de levantamiento fotogramétrico con RPA</i>	53
Tabla 5 Especificaciones de vuelo	62
Tabla 6 Distancia por tramos	66
Tabla 7 Escala de Índice de Serviciabilidad	95

Resumen

El lugar donde se realizó el vuelo de RPA se encuentra ubicado en el departamento de Junín provincia de Yauli distrito de Marcapomacocha - CC. PP Yantac con una altura de 4682 m.s.n.m. a la cual es limítrofe con los departamentos de Lima y Cerro de Pasco. El tramo de vuelo fue en la carretera 20A Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda. El corredor vial presenta una longitud de 203.796 km, el cual consta de cuatro tramos. Para la presente investigación, se realizó el vuelo en una parte del tramo 2 Canta - Huayllay (95.2 km). Provías Nacional señala que la intervención en este tramo consiste en realizar el mejoramiento y rehabilitación del tramo a nivel de carpeta asfáltica, de dos carriles, con un ancho de calzada de 7 20 m bermas de 0 90 m, así como el mejoramiento de los sistemas de drenaje, estabilización de taludes implementación de señales verticales y horizontales, en función de las características de la carretera a fin de prevenir y salvaguardar la seguridad en la vía, entre otros trabajos, que se encuentran en el Estudio Definitivo del Saldo de Obra.

En la presente investigación, se llevó a cabo la aplicación de la fotogrametría con RPA, para analizar la calidad del pavimento flexible en la carretera Lima-Canta-Huallay, tramo Laguna 7 Colores-Fantasma cordillera la Viuda, 2023.

PALABRAS CLAVES: RPA (Aeronaves pilotadas a distancia), Fotogrametría, Pavimento flexible, Calidad, fallas.

Abstract

The place where the RPA flight took place is located in the department of Junín, province of Yauli, district of Marcapomacocha - CC. PP Yantac with a height of 4682 m.s.n.m. which is bordered by the departments of Lima and Cerro de Pasco. The flight section was on highway 20A Lima - Canta- Huayllay, Laguna 7 Colores - Phantom Cordillera La Viuda section. The road corridor has a length of 203,796 km, which consists of four sections. For the present investigation, the flight was carried out in a part of section 2 Canta - Huayllay (95.2 km).

Provías Nacional points out that the intervention in this section consists of carrying out the improvement and rehabilitation of the section at the level of the asphalt layer, with two lanes, with a road width of 7.20 m, shoulders of 0.90 m, as well as the improvement of the systems drainage, stabilization of slopes, implementation of vertical and horizontal signs, depending on the characteristics of the road in order to prevent and safeguard road safety, among other works, which are found in the Final Work Balance Study.

In the present investigation, the application of photogrammetry with RPA was carried out, to analyze the quality of the flexible pavement on the Lima-Canta-Huallay highway, section Laguna 7 Colores-Fantasma cordillera la Viuda, 2023.

KEY WORDS: RPA (Remotely Piloted Aircraft), Photogrammetry, Flexible Pavement, Quality, failures.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Realidad Problemática

La fotogrametría es una técnica de medición y cartografía que se utiliza para generar modelos tridimensionales de objetos y terrenos a partir de fotografías. Es una disciplina que combina la fotografía, la matemática y la física para obtener mediciones precisas y detalladas de la forma, tamaño y posición de objetos en el espacio (Santamaría y Sanz, 2011).

En ese contexto según Quirós (2014) la fotogrametría radica en su capacidad para generar modelos precisos y detallados de objetos y terrenos, lo que la convierte en una herramienta valiosa para una amplia gama de aplicaciones, se utiliza en campos como la cartografía, la ingeniería civil, la arquitectura, la topografía, la geología, la arqueología y la inspección de estructuras, entre otros, además, la fotogrametría con drones o RPA (Remotely Piloted Aircraft) ha permitido una mayor accesibilidad y eficiencia en la toma de datos para el análisis y la evaluación de áreas extensas y de difícil acceso.

Por otro lado, Baque (2020) indica que la calidad del pavimento se refiere a la capacidad de este para cumplir con los requisitos de desempeño durante su vida útil, esto incluye la capacidad de soportar el tráfico vehicular, resistir las condiciones climáticas y el envejecimiento, proporcionar un nivel adecuado de seguridad y comodidad para los usuarios de la carretera, y cumplir con las normas y especificaciones técnicas aplicables.

Para medir la calidad del pavimento se utilizan diversos parámetros y herramientas de evaluación, como la rugosidad superficial, el índice de irregularidad internacional (IRI), la resistencia a la adherencia, la macro textura, la micro textura y el espesor del pavimento. Estas mediciones permiten identificar posibles defectos o problemas en el pavimento y tomar medidas preventivas o correctivas para garantizar su calidad y prolongar su vida útil, además, la evaluación periódica de la calidad del pavimento es esencial para el desarrollo de planes de

mantenimiento y rehabilitación, lo que contribuye a la eficiencia en el uso de los recursos y a la seguridad de los usuarios de la carretera (Castaño et al., 2009).

A nivel internacional, la calidad del pavimento o el control de la calidad que este tiene es un tema de gran importancia para la conectividad y desarrollo económico de los países. Las carreteras son una infraestructura crítica para la movilidad de personas y bienes, y su buen estado garantiza la seguridad de los usuarios y la eficiencia del transporte, sin embargo, el mantenimiento de carreteras no es una tarea fácil ni económica, especialmente en países con extensas redes viales y condiciones climáticas adversas (Marín y Guzmán, 2007).

De igual forma, Oblitas, Medina y Paredes (2021) menciona que otro factor a considerar en el mantenimiento de carreteras a nivel internacional es la coordinación entre los distintos países que comparten carreteras y las normativas y estándares internacionales que se deben cumplir, es importante que exista un trabajo conjunto entre los países para asegurar una continuidad en el mantenimiento y mejorar la conectividad en la región, además, es necesario tener en cuenta las nuevas tecnologías y técnicas de construcción y mantenimiento de carreteras para asegurar una infraestructura vial sostenible y segura a largo plazo.

En Perú, como en muchos países, la construcción y mantenimiento de carreteras es una tarea crucial para el desarrollo económico y social del país. Una de las características más importantes que debe tener una carretera es la calidad del pavimento, ya que esto afecta directamente la seguridad de los usuarios y la durabilidad de la infraestructura vial (PerúConstruye, 2018).

Además, el uso de la fotogrametría con RPA y GPS diferencial para analizar la calidad del pavimento flexible puede resultar costoso, lo que limita su aplicación en muchas ocasiones. A esto se suma el hecho de que no siempre se cuenta con personal capacitado para utilizar esta tecnología de manera efectiva y generar resultados confiables (Guerra y Guerra, 2020).

Base Teórica

Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica de medición que permite obtener información tridimensional de objetos y superficies a partir de imágenes bidimensionales. Se basa en el uso de algoritmos matemáticos para calcular la posición y la forma de los objetos a partir de la información visual que proporcionan las fotografías. Es una técnica ampliamente utilizada en diversos campos, como la cartografía, la topografía, la arquitectura, la ingeniería civil, la arqueología y la geología, entre otros (Ramírez, 2013).

La fotogrametría puede ser aérea, terrestre o subacuática, dependiendo del medio en que se realice la captura de las imágenes. La fotogrametría aérea se lleva a cabo mediante la captura de imágenes desde un avión o un dron, lo que permite cubrir grandes extensiones de terreno en poco tiempo y obtener información detallada de la superficie del terreno. La fotogrametría terrestre, por su parte, se realiza a través de la captura de imágenes desde el suelo, lo que permite obtener información detallada de los objetos y estructuras a nivel de calle (Moreno y Castillo, 2018).

Para que la fotogrametría sea efectiva, es necesario contar con imágenes de alta calidad y precisión. Por lo tanto, se utilizan cámaras de alta resolución y se controla cuidadosamente la geometría de la toma de las fotografías. Además, se deben realizar correcciones de los errores geométricos y radiométricos presentes en las imágenes, para asegurar la exactitud de los resultados obtenidos (Roldán, 2019).

En ese contexto, Acosta et al. (2017) señala que la fotogrametría es una técnica de medición que se utiliza para obtener información precisa y detallada sobre la forma, la posición y la orientación de objetos en tres dimensiones (3D) a partir de imágenes bidimensionales (2D). Esta técnica se utiliza en una amplia variedad de industrias, incluyendo la construcción, la ingeniería, la cartografía, la arqueología y la medicina.

Figura 1

Ejemplo de fotogrametría aplicada en carreteras



Nota. Obtenido de *LinkedIn* [Fotografía] (<https://acortar.link/qZRU6m>)

Un beneficio de la fotogrametría es la precisión y la exactitud de la información obtenida. La fotogrametría permite obtener medidas precisas y detalladas de objetos en 3D a partir de imágenes en 2D, lo que permite una mayor precisión y exactitud en comparación con otras técnicas de medición, esto es especialmente útil en industrias como la construcción y la ingeniería, donde la precisión es crítica para garantizar la seguridad y la calidad de los proyectos (Moyano, 2017).

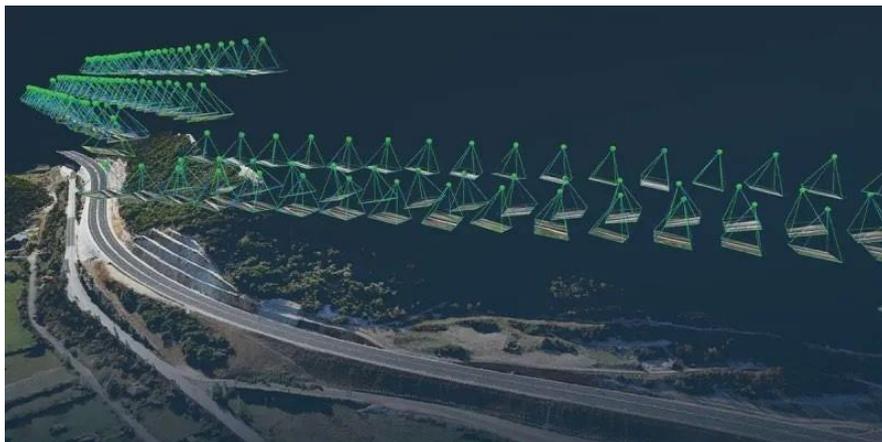
Otro beneficio de la fotogrametría es la eficiencia y la rapidez en la obtención de datos. La fotogrametría puede utilizarse para obtener información sobre grandes áreas y objetos en poco tiempo y con un costo relativamente bajo en comparación con otras técnicas de medición, además, la fotogrametría no requiere la presencia física del objeto en cuestión, lo que significa que puede utilizarse para medir objetos que son difíciles o peligrosos de acceder (Jiménez, 2020).

La fotogrametría también permite la creación de modelos 3D detallados y precisos, estos modelos pueden utilizarse para una amplia variedad de aplicaciones, como la planificación de proyectos, la visualización de diseños y la simulación de escenarios, los modelos 3D también pueden utilizarse para la creación de realidad virtual y aumentada, lo que permite una mejor comprensión y visualización de los objetos y los espacios (Cortés, 2021).

Es por ello que Aparicio et al. (2018) señalan que la fotogrametría permite la creación de mapas y modelos de alta resolución y precisión. Estos mapas y modelos pueden utilizarse para la planificación urbana, la gestión del territorio y la cartografía. Además, la fotogrametría permite la creación de mapas y modelos detallados de áreas remotas o inaccesibles, lo que puede ser útil en aplicaciones como la exploración de recursos naturales y la conservación del medio ambiente.

Figura 2

Ejemplo de fotogrametría usando drones



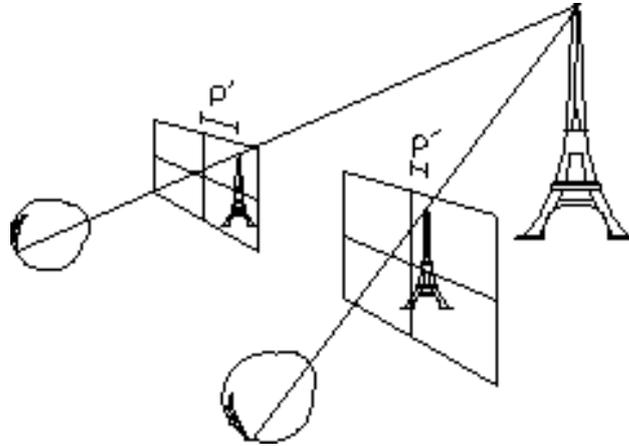
Nota. Obtenido de IDC [Fotografía] (<https://acortar.link/AKAQ91>).

Estereoscopia: Percepción Tridimensional. Según Nascimento (2019) el antecedente histórico de la estereoscopia se encuentra en el “Panorama” del siglo XVII, el cual consistía en enormes pinturas circulares exhibidas en edificios construidos en forma cilíndrica, estas construcciones ofrecían a los espectadores una vista de 360 grados, creando la sensación de que se encontraban en el lugar de la representación y proporcionando una experiencia de inmersión para el observador, con gran habilidad, los panoramas lograban crear la ilusión de estar presente en el escenario representado, proporcionando una experiencia única para los espectadores.

La capacidad de ver objetos en 3D, conocida como visión estereoscópica, según Cárdenas, Morales y Ussa (2015) es un proceso natural en los seres humanos, el cual se basa en la percepción binocular de imágenes que ofrecen los dos ojos, que presentan diferencias de separación entre sí, a su vez, el cerebro humano utiliza esta disparidad o paralaje entre las imágenes para percibir la profundidad y generar una vista tridimensional, además de esta capacidad natural, existen mecanismos y procedimientos que permiten obtener una visión estereoscópica utilizando instrumentos o equipos especializados, entre ellos se encuentran los sistemas de visión paralela, visión cruzada, anaglifos, polarización, obturación, cascos de realidad virtual y monitor lenticular. En todos estos casos, se utiliza la disparidad entre las imágenes que recogen los dos ojos para crear una sensación de profundidad y de visión en tres dimensiones.

Figura 3

Ejemplo de vista estereoscópica



Nota. Obtenido de *Gis ibérica* [Fotografía] (<https://acortar.link/eIOuG4>).

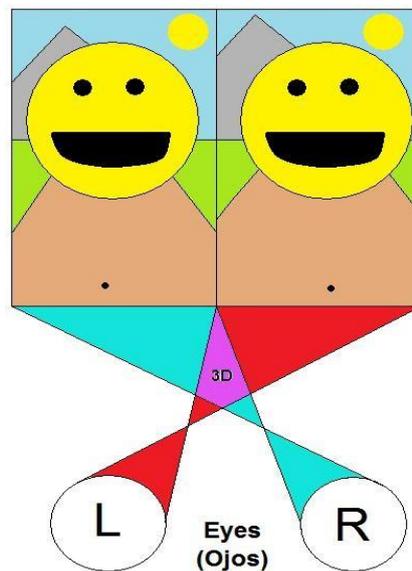
A su vez, Piedrahita (2018) menciona que estereoscopia usa la separación entre los ojos para crear una imagen con efecto tridimensional, pero esta imagen no siempre refleja de manera proporcional el espacio real. Al mirar a través de un estereoscopio, la separación entre el espectador y la escena parece desaparecer, creando un espacio sin bordes en el que los objetos cercanos y lejanos se fusionan en un conjunto de superficies. Este efecto se logra alinear los puntos de convergencia de ambos ojos en una única profundidad de campo, en la que la vista puede detenerse, revisitar o ignorar ciertas secciones de la imagen.

Uno de los tipos de estereoscopia, la fotografía estereoscópica se realiza con cámaras que tienen dos lentes situados a la distancia interocular de los seres humanos, de manera que puedan reproducir la ligera diferencia que existe entre lo que cada ojo ve, y así crear el efecto de paralaje, las dos imágenes resultantes se ven a través de un estereoscopio, y ajustando el dispositivo, el usuario puede ver ambas imágenes fusionadas en una sola que muestra diferentes planos de profundidad, produciendo una ilusión de gran intensidad y vívida profundidad, esta técnica fotográfica fue utilizada por los fotógrafos en la segunda mitad del

siglo XIX para documentar cualquier edificio considerado culturalmente significativo, a partir de su presentación al público en el Crystal Palace de Londres en 1851, por los pioneros europeos y estadounidenses en la materia (Klahr, 2017).

Figura 4

Ejemplo de estereoscopia



Nota. Obtenido [Fotografía] (<https://acortar.link/9IJ5VP>).

Aeronaves Controladas por Control Remoto (RPA)

Según Pérez (2016), las aeronaves remotamente tripuladas, son el último gran desarrollo tecnológico que se ha dado en materia aeronáutica en el mundo, se ven a diario en la prensa y en internet, y muchas personas quisieran tener una: comerciantes, empresarios, aficionados e incluso el ciudadano común que busca una novedosa forma de capturar imágenes y hacer videos con estos artefactos, a pesar de la novedad y el avance tecnológico, su utilización se remonta a los inicios de la aviación, particularmente a la aviación militar la cual les dio vida, los tiempos han cambiado, y se puede decir que el uso de las RPA ya no es

exclusivamente militar, pues gracias a la innovación en los últimos años han surgido nuevas aplicaciones y usos en el ámbito comercial, civil y recreativo.

En ese contexto, los sistemas de aeronaves no tripuladas han adquirido una gran relevancia debido a sus múltiples aplicaciones y potencial económico. Estos sistemas incluyen la estación de control en tierra, el enlace de comunicaciones y la propia aeronave, lo que permite su operación. Sin embargo, es importante destacar que la operación de estas aeronaves se encuentra limitada al espacio aéreo segregado. Por esta razón, se han llevado a cabo numerosos estudios e iniciativas con el fin de lograr su integración en el espacio aéreo compartido, tanto controlado como no controlado, garantizando su viabilidad y seguridad (Roman, et al., 2018). De igual forma, para la Organización de Aviación Civil Internacional (2011) estos sistemas se basan en novedades tecnológicas aeroespaciales de última generación, que ofrecen avances que pueden abrir nuevas y mejores aplicaciones comerciales o civiles, así como mejoras de la seguridad operacional y eficiencia de toda la aviación civil. Según Salgado (2019) los RPA son usados en diferentes aplicaciones como:

- Medio Ambiente.
- Agricultura.
- Ganadería.
- Bosques.
- Geología.
- Construcción e inspecciones.
- Control y análisis de multitudes.
- Exploración de lugares de difícil acceso.
- Movilidad y Tráfico.

Tipos de RPA.

RPA de Ala Fija

Pata ACRE (2021) son vehículos aéreos no tripulados que tienen una estructura de ala fija, similar a la de un avión convencional, se diferencian de los aviones tripulados en que no tienen un piloto humano a bordo y son controlados de forma remota por un operador en tierra.

A su vez, son sistemas aéreos no tripulados que utilizan una configuración de ala fija, lo que les permite volar largas distancias a velocidades relativamente altas, estos vehículos pueden ser utilizados en una variedad de aplicaciones, incluyendo la vigilancia, la exploración, la cartografía, la agricultura de precisión y la entrega de paquetes, entre otros (IDC, 2020).

Figura 5

RPA de ala fija



Nota. Obtenido de *Control Drone* [Fotografía] (<https://acortar.link/IToSGP>).

RPA Multirrotores

Los RPA multirrotores son sistemas aéreos no tripulados que utilizan varios rotores para su elevación y control de vuelo, estos rotores pueden ser dispuestos en distintas configuraciones, como quadcopters, hexacopters o octocopters, y permiten un alto grado de maniobrabilidad y estabilidad en el aire y son comúnmente utilizados en aplicaciones de vigilancia, inspección y mapeo, así como en la industria del entretenimiento, donde se utilizan para capturar tomas aéreas en películas y eventos deportivos (Moreno, 2019).

Este tipo de RPA según la Consejería de economía y Hacienda (2015) tienen la capacidad de volar y mantenerse estacionarios en el aire sin necesidad de movimiento hacia adelante, esto les permite realizar tareas de vigilancia y mapeo de áreas urbanas y rurales, así como inspecciones de infraestructuras como puentes, torres de energía y líneas de transmisión eléctrica, además, su pequeño tamaño y maniobrabilidad les permite operar en lugares de difícil acceso, como edificios altos y terrenos accidentados, lo que los convierte en una herramienta muy útil para los equipos de rescate en situaciones de emergencia.

Figura 6

RPA multirrotores



Nota. Obtenido de Iberf [Fotografía] (<https://acortar.link/9ZriTt>).

RPA con Tecnología RTK y PPK).

Para Gómez et al. (2021) son sistemas de posicionamiento que permiten una mayor precisión en la geolocalización de los vuelos de los RPA, estos sistemas utilizan señales GPS y otros sistemas de navegación para obtener la posición exacta del RPA en tiempo real (RTK) o en una fase de post-procesamiento (PPK), la tecnología RTK utiliza una estación base terrestre que emite una señal de corrección en tiempo real al RPA, mejorando su precisión de posicionamiento a unos pocos centímetros, por otro lado, la tecnología PPK permite la corrección de la posición del RPA en una fase posterior al vuelo, a través del procesamiento de datos de GPS recopilados en el RPA y en una estación base terrestre.

Los RPA con tecnología RTK y PPK son ampliamente utilizados en aplicaciones que requieren una alta precisión en la georreferenciación de los datos recopilados por el RPA, como la cartografía, la topografía, la agricultura de precisión y la inspección de infraestructuras críticas, estos sistemas permiten la obtención de datos geoespaciales de alta calidad y precisión, lo que resulta en una mayor eficiencia en la toma de decisiones y una reducción de los costos y los tiempos de inspección (PIx4D, 2017).

Figura 7

Proceso de vuelo de RPA con tecnología RTK y PPK



Nota. Obtenido PIX4D [Fotografía] (<https://acortar.link/A2QXxy>).

Consideraciones para el vuelo del RPA

Resoluciones de una Imagen Captadas por un Sensor Remoto. Según Rodríguez y Espejo (2020) las imágenes captadas por sensores remotos tienen ciertas características que les permiten visualizar correctamente la información que contienen. Cada imagen (formato raster) se compone de elementos individuales llamados píxeles, definidos como la unidad más pequeña que compone una imagen.

Figura 8

Diferencia en la resolución espacial de las imágenes.



Nota. Adaptado de Cartografía con drones (VANT's) (p. 17), por Rodríguez y Espejo, 2020, Editorial UPTC.

GSD (Ground sample distance). El GSD es un término que se utiliza en el campo de la teledetección para referirse a la resolución espacial de una imagen, se define como la distancia en metros en el suelo que se representa por un solo píxel en una imagen, en otras palabras, el GSD se refiere a la distancia mínima en el terreno que puede ser identificada en una imagen (PIX4D, 2021).

Otros autores han afirmado lo siguiente:

La distancia de muestreo en tierra (GSD), es la distancia entre dos centros de píxeles consecutivos medidos en el suelo. Cuanto mayor sea el valor de la imagen GSD, menor será la resolución espacial de la imagen y los detalles menos visibles. El GSD está relacionado con la altura del vuelo: cuanto mayor sea la altitud del vuelo, mayor será el valor GSD. La altura de vuelo H que se necesita para obtener un GSD determinado se puede calcular y depende de la distancia focal de la cámara, el ancho del sensor de la cámara [mm] y el ancho de la imagen [píxeles]. (Rodríguez y Espejo, 2020).

Según DJI Enterprise (2022) la determinación del GSD es importante porque puede afectar significativamente la calidad de la información obtenida a partir de una imagen, ya que un GSD más pequeño significa una mayor resolución espacial, lo que permite una mayor precisión en la identificación de características y objetos en la imagen, sin embargo, una mayor resolución espacial también puede resultar en un mayor tamaño de archivo y un mayor tiempo de procesamiento de la imagen.

Figura 9

Determinación de GSD

$$H = GSD * R * \frac{f}{Sw}$$

Despejando:

$$GSD = \frac{H}{R} * \frac{Sw}{f}$$

H : Altura de vuelo.
Sw : Anchura del sensor.
R : Resolución del sensor (Horizontal).
f : Distancia focal.

Nota. en esta imagen se puede visualizar la forma de hallar el GSD y su expresión de medida será en centímetros(cm) por pixel con relación a la superficie. Obtenido de www.mastergis.com

Distancia Focal y Altura de Suelo. La distancia focal es un parámetro clave en la fotogrametría que se refiere a la distancia entre el centro óptico de la lente de la cámara y el plano de la imagen. En términos simples, es la medida de la distancia desde la lente hasta el sensor de la cámara (Santamaría y Sanz, 2011).

La altura de suelo en fotogrametría es la distancia vertical desde el suelo hasta el sensor de la cámara, es una variable importante en la fotogrametría porque afecta

directamente a la calidad de las imágenes y la resolución espacial, una altura de suelo adecuada es necesaria para obtener imágenes con una resolución suficiente para permitir una precisión adecuada en la medición de las características de la superficie terrestre (PIX4D, 2019).

Apertura de Cámara. La apertura de la cámara según Fernández (2018) es la abertura en el diafragma de la lente que permite que la luz entre en la cámara y alcance el sensor o la película fotográfica, mide en f-stops y determina la cantidad de luz que entra en la cámara y la profundidad de campo de la imagen resultante, una apertura más grande (número f-stop más bajo) permite que más luz entre en la cámara, lo que puede ser útil en condiciones de poca luz, pero también resulta en una profundidad de campo más reducida.

La apertura de la cámara también afecta la nitidez de la imagen, ya que una apertura muy grande puede producir imágenes borrosas debido a la difracción de la luz, por esta razón, la mayoría de las lentes tienen una apertura máxima que es menor que la máxima abertura posible (CAPTURE THE ATLAS, 2019).

Traslape y Overlap. Para Arriola, Ferencz y Rimolo (2018) el traslape se refiere a la cantidad de solapamiento longitudinal entre dos imágenes adyacentes, es decir, la proporción de área de una imagen que se superpone con la imagen anterior o posterior, a su vez, el overlap, por otro lado, se refiere a la cantidad de solapamiento lateral entre dos imágenes adyacentes, es decir, la proporción de área de una imagen que se superpone con la imagen a su lado.

La cantidad de traslape y overlap utilizados en la captura de imágenes aéreas depende del tipo de proyecto de cartografía o modelo 3D que se quiera realizar, un alto nivel de traslape y overlap puede aumentar la calidad de los datos y la precisión del modelo resultante, pero también puede requerir un mayor tiempo de procesamiento y

mayores costos en la captura de imágenes y un bajo nivel de traslape y overlap puede reducir la calidad del modelo y la precisión de los datos, pero también puede requerir menos tiempo de procesamiento y menores costos en la captura de imágenes (Jiménez, et al., 2020).

Planificación de Vuelo

La planificación de vuelo es una parte crítica del proceso de vuelo de un dron. Antes de despegar, es importante tener en cuenta factores como la duración del vuelo, la altitud máxima y mínima permitida, la ubicación de obstáculos y la cobertura de la zona aérea a mapear o fotografiar, a su vez, existen varios programas de planificación de vuelos para drones que permiten al operador establecer parámetros precisos de vuelo (Gonzales et al., 2019).

La planificación del vuelo también debe tener en cuenta la batería y la capacidad de carga del dron, ya que una batería agotada puede provocar la pérdida del dron y la cámara. En algunos casos, se pueden programar puntos de retorno a casa para garantizar que el dron regrese a su punto de partida en caso de una emergencia, es por ello que la planificación de vuelo es esencial para garantizar la seguridad y el éxito de la misión del dron (Berrío et al., 2018).

Además, el diseño del plan de vuelo debe considerar los siguientes factores:

Superposición. Según Rodríguez y Espejo (2020) esto se refiere a la superposición entre imágenes sucesivas tanto en vertical como en horizontal y se deben considerar los siguientes puntos:

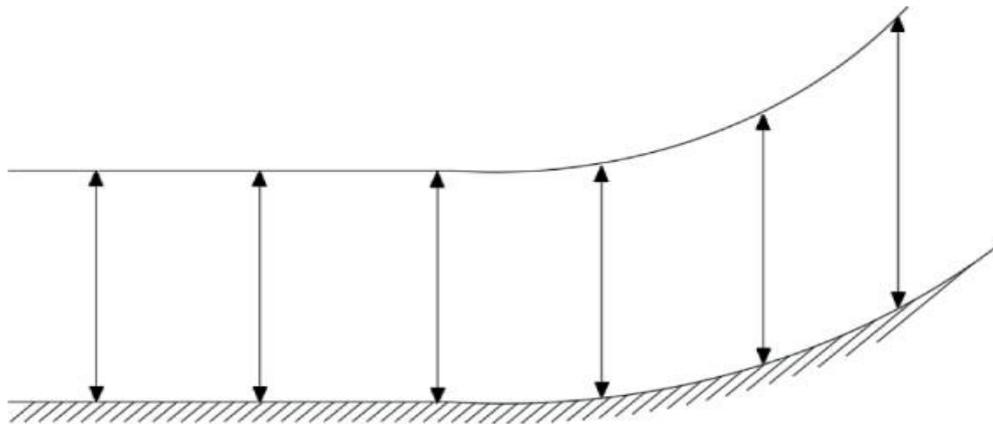
- La baja altitud con una gran distancia focal, requerirá una tasa de imagen muy alta para mantener una buena superposición;

- Para una distancia focal dada y una velocidad de imagen dada, al aumentar la altitud a su vez lo hará la superposición. (pág. 43)

Variación del Vuelo.

Figura 10

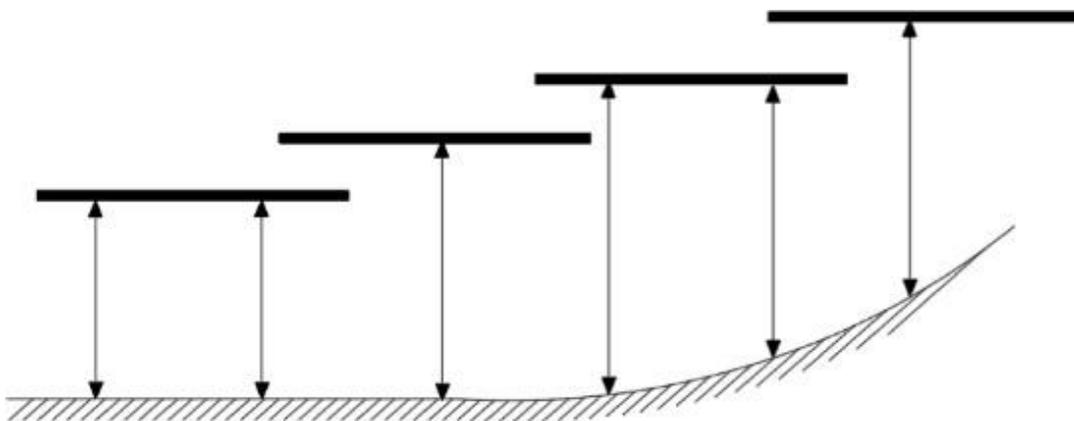
El vuelo sigue la variación del terreno



Nota. el método recomendado ya que el GSD será constante para el proyecto ya que se mantiene la diferencia de altura entre el UAV y el suelo. Adaptado de Cartografía con drones (VANT's) (p. 44), por Rodríguez y Espejo, 2020, Editorial UPTC.

Figura 11

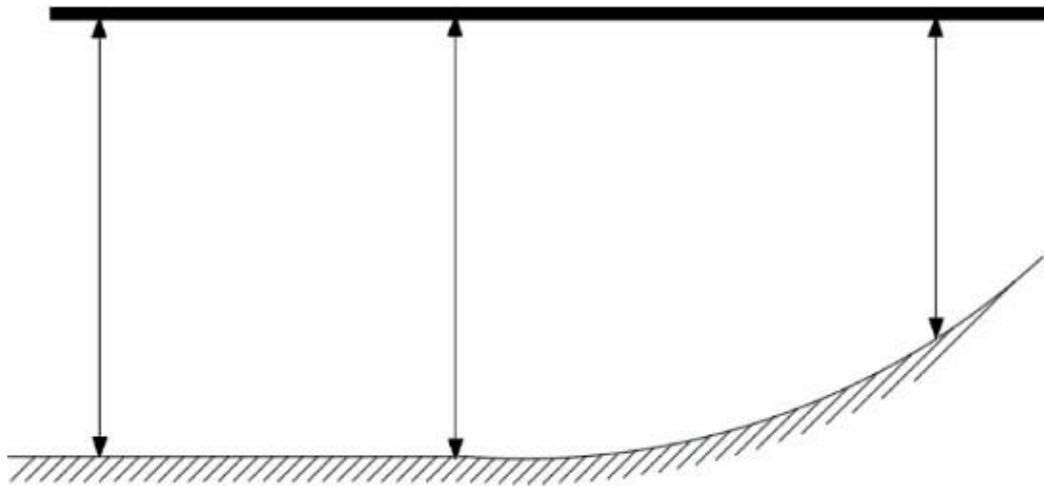
El vuelo a diferentes alturas constantes



Nota. Realice varios vuelos a diferentes altitudes con la línea de vuelo perpendicular a la pendiente. El GSD será aproximadamente constante para el proyecto, ya que se mantiene la diferencia de elevación entre el UAV y el suelo. Adaptado de Cartografía con drones (VANT's) (p. 45), por Rodríguez y Espejo, 2020, Editorial UPTC.

Figura 12

El vuelo a única altura



Nota. Vuelo único a una altitud constante independientemente de los cambios de altitud en el terreno (no recomendado). Adaptado de Cartografía con drones (VANT's) (p. 46), por Rodríguez y Espejo, 2020, Editorial UPTC.

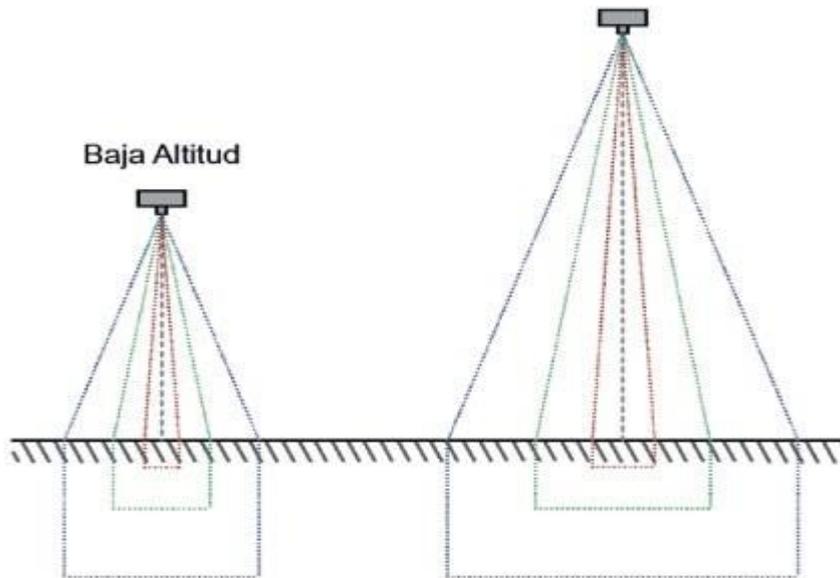
Hora de Vuelo y Condiciones Climáticas. Según Rodríguez y Espejo (2020) afirma que el proceso de restitución fotogramétrica se ve afectado en presencia de sombras, nubes, poca luz. Es más factible trabajar al mediodía y en días despejados. Cámara. Según Rodríguez y Espejo (2020) para la selección de la distancia focal de la cámara y la altitud del vuelo se considera lo siguiente:

- Al incrementarse la distancia focal y definir la altitud, se captura un área menor. Por consiguiente, el valor de la distancia de muestreo en el suelo (GSD) disminuirá y la imagen presentará una resolución mayor.

- Al disminuir la altitud y definir una distancia focal, también se logrará una imagen con una resolución mayor. (pág. 47)

Figura 13

Área de análisis en función de la distancia focal y altitud



Nota. Adaptado de Cartografía con drones (VANT's) (p. 48), por Rodríguez y Espejo, 2020, Editorial UPTC.

Software de Procesamiento de Imágenes (Agisoft Metashape)

Agisoft Metashape es un software de fotogrametría que permite procesar imágenes aéreas o terrestres y crear modelos tridimensionales, ortofotos y mosaicos de alta resolución, el software utiliza algoritmos avanzados de correlación de imágenes para alinear las fotos y reconstruir la geometría de la superficie. Además, cuenta con herramientas para la corrección de la distorsión de la lente, la eliminación de la vegetación y la eliminación de objetos no deseados en el modelo (Guzman, Cifuentes y Suarez, 2020).

Software de Diseño Civil (AutoCADCivil 3D)

Es un software o programa, el cual permite llevar a cabo procesos de diseño y de documentación, en cuanto diferentes proyectos de ingeniería civil, los cuales pueden resistir flujos de trabajo en términos de BIM, es decir Building Information Modeling por sus siglas en inglés o Modelado de información de construcción (Autodesk Journal, 2021).

Pavimento Flexible

El pavimento flexible es un tipo de superficie de carretera compuesta por capas de materiales que se diseñan para soportar las cargas de los vehículos y las condiciones climáticas. El término “flexible” se refiere a la capacidad del pavimento para soportar el tráfico sin fracturarse o romperse. El pavimento flexible se compone típicamente de varias capas de materiales, cada una con una función específica. Estas capas pueden incluir una subrasante, una base, una capa de rodadura y una capa de sellado (Beltrán, 2014).

La subrasante es la capa inferior del pavimento flexible y se encuentra directamente sobre el suelo natural. Esta capa proporciona soporte estructural al pavimento y puede estar compuesta por materiales como grava, arena o arcilla. La base es la capa que se encuentra encima de la subrasante y proporciona una superficie uniforme y estable para la capa de rodadura. La capa de rodadura es la superficie superior del pavimento que se expone al tráfico y está diseñada para proporcionar una superficie de rodadura segura y duradera. La capa de sellado se utiliza para proteger la capa de rodadura de la penetración del agua y la acción de los agentes externos (Romero et al., 2014).

El pavimento flexible se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde carreteras rurales hasta autopistas urbanas de alta velocidad. El uso de pavimento flexible puede

tener ventajas sobre otros tipos de pavimentos, como la capacidad de adaptarse a terrenos irregulares y su mayor capacidad de absorción de impactos. Además, el pavimento flexible puede ser más económico que otros tipos de pavimentos debido a su menor costo de construcción y mantenimiento (Rondón y Reyes, 2007).

Sin embargo, el pavimento flexible también tiene algunas limitaciones. A medida que el tráfico y las cargas se hacen más pesados, el pavimento flexible puede comenzar a deformarse y deteriorarse, lo que puede resultar en una reducción en la calidad de la superficie de rodadura y en la seguridad de los usuarios de la carretera. La falta de mantenimiento y reparación adecuados también puede acelerar el deterioro del pavimento flexible. Por lo tanto, la implementación de un programa de mantenimiento preventivo y correctivo puede ayudar a prolongar la vida útil del pavimento flexible y asegurar su calidad a largo plazo (De la Cruz y Paredes, 2021).

Fallas en el Pavimento

Las incidencias de factores de distinto origen determinan alteraciones de la superficie de rodadura de los pavimentos flexibles que perjudican la seguridad, comodidad y rapidez con que debe circular el tráfico presente y el futuro.

La apreciación de las causas de las fallas observadas debe conducir a la diferenciación de dos casos globales en los que debe identificarse la falla analizada:

Fallas superficiales: comprende los defectos de la superficie de rodadura debido a fallas de la capa asfáltica superficial propiamente dicha y no guardan relación con la estructura del pavimento.

Fallas estructurales: comprende los defectos de la superficie de rodadura cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir afecta a una o más capas del pavimento.

Serviciabilidad – Regularidad Superficial

La satisfacción de los usuarios se manifiesta, fundamentalmente, por la calidad en que se encuentra la superficie de rodadura y los elementos que constituyen la seguridad vial. AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para establecer el nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la estructural.

Para el efecto introdujo el concepto de Present Serviceability Index (PSI), que fue derivado de una encuesta efectuada en la década del 60 entre usuarios de carreteras en los Estados Unidos. El Present Serviceability Index o la serviciabilidad fue definida como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. Los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones (situación ideal).

Niveles de Servicio

Los niveles de servicio son indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

La conservación del pavimento durante el período de servicio, debe estar asociada al cumplimiento de los niveles de servicio, el trabajo de conservación que se realice será para cumplir los estándares admisibles, siendo una obligación que la carretera se conserve en condiciones aceptables y dentro de los niveles de servicio

admisibles para el período de diseño.

Caminos Pavimentados: Pavimentos Flexibles, Semirrígidos

- Control de Fisuras y Baches
- Control de Ahuellamiento
- Control de Textura Superficial
- Control de Rugosidad
- Control de Deflexiones

Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Assunção (2019) Uso de Imágenes Terrestres y Aéreas para la Identificación de Imperfecciones en el pavimento de asfalto. El uso de pavimento asfáltico para el movimiento de vehículos de carga y personal es de suma importancia para el desarrollo del país, por lo que es crucial que se apliquen estrategias para mantener la calidad de la vía en buen estado y extender su vida útil. Este trabajo tuvo como objetivo analizar y comparar el uso de diferentes métodos de fotogrametría para la identificación de imperfecciones en un pavimento en el municipio de Romaria – Minas Gerais. La metodología consistió en el análisis de imágenes aéreas, recolectadas por una aeronave pilotada a distancia (RPA), y terrestres, adquiridas mediante un sistema de mapeo móvil (MMS), para obtener información sobre el pavimento asfáltico que pudiera auxiliar en la investigación de las patologías presentes en el mismo. Con base en esta información, fue posible evaluar las patologías utilizando la integración entre imágenes aéreas y terrestres, crear un diagnóstico de estas patologías, evaluar la calidad del pavimento siguiendo las normas del DNIT e inferir alternativas de intervención correctiva y preventiva para la malla vial. De los análisis realizados se pudo concluir que el uso de imágenes con diferentes puntos de perspectiva es factible para la identificación de patologías en la vía, pudiendo ser una excelente herramienta para la toma de decisiones respecto a qué alternativas se deben utilizar en el pavimento asfáltico. para el mantenimiento y prevención de futuras imperfecciones.

Souza y Lacerda (2019) Evaluación del empleo de Quadrirotor RPA para levantamiento de áreas de parche en pavimentos urbanos. El uso de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA) como herramienta para la obtención de imágenes fotogramétricas es una realidad en el contexto de la Ingeniería del Transporte. De esta forma, el objetivo de

esta investigación es evaluar el potencial de un RPA para identificar defectos tipo parche en pavimentos urbanos, midiendo sus áreas a cuatro alturas de vuelo distintas sin el uso de puntos de control y comparación con medidas realizadas insitu. Se utilizó un software de procesamiento de imágenes para la generación de un ortomosaico de una carretera de la ciudad de Fortaleza / CE. Así, fue posible calcular los errores porcentuales, obteniendo resultados de error mínimo de medición de área de 1.06% y máximo de 7,18%. Se concluyó que las diferentes alturas de vuelo interfieren en el levantamiento fotogramétrico de los defectos de pavimentos urbanos, además se puede percibir que el tamaño del defecto influye en el porcentaje de error de la medida.

Jonas, Borges, SimõesI, Anjos, Costa (2022) Detección semiautomática de fallas en pavimento asfáltico adopción de productos generados por aeronaves pilotadas a distancia. Dada la importancia de la identificación de defectos en los pavimentos asfálticos para el correcto mantenimiento de las carreteras brasileñas, el presente trabajo tiene como objetivo realizar la detección semiautomática de defectos en el pavimento asfáltico y clasificar la calidad de la carretera según las normas del DNIT, adoptando Geobia y utilizando productos fotogramétricos a partir de imágenes adquiridas con RPA. Para ello, se realizó un levantamiento fotogramétrico aéreo de un tramo de la carretera MG290 con un dron Phantom 4 y las imágenes, junto con los puntos de control determinados mediante posicionamiento GNSS, se procesaron en el software Agisoft Photoscan. Con el ortofotomosaico y el MDS obtenidos, se realizó la segmentación de la ortofoto, la toma de muestras para cada clase definida y la extracción de atributos en el software eCognition. La clasificación orientada a objetos, adoptando el algoritmo Random Forest, realizada en el software WEKA, fue excelente y permitió cuantificar los defectos presentes en el tramo de la carretera en estudio, adoptando el software

QGIS. Calculando el IGG, según normas del DNIT, se verificó que el tramo bajo análisis se encuentra en muy malas condiciones.

Antecedentes Nacionales

Visalot (2022) Aplicación de la fotogrametría RPAS en la zonificación urbana del sector Manchibamba, Chachapoyas En las últimas décadas la ciudad de Chachapoyas ha crecido aceleradamente ocasionando el crecimiento desmedido de los asentamientos humanos, generando nuevos retos y la necesidad de implementar sistemas, tecnologías y metodologías que permitan responder con eficacia y eficiencia, los procesos de zonificación con fines urbanos, se obtuvo mediante la fotogrametría RPAS la superficie del terreno y la ortofoto sustituyendo a la topografía tradicional. De la información obtenida de las fotografías, se obtuvo un modelo digital de elevaciones (MDE) que mediante los softwares de Autodesk se logró determinar la zonificación del sector Manchibamba de manera rápida y sencilla teniendo al alcance un MDE editable que permite la modificación del sector de manera más interactiva con procesos simples y sencillos que ayudan a tomar decisiones en el proceso de planeamiento y diseño que se adecuaron a la realidad del sector de la investigación. Se obtuvieron planos y un MDE, que son usados en la actualidad, para la implementación de nuevas metodologías que mejoran el sector de la construcción.

Paucar (2019) Aplicación de fotogrametría digital de objeto cercano en infraestructura mina, Proyecto Minero Las Bambas-Apurímac. El proceso dentro del arte de la fotogrametría es la ejecución del trabajo, primero marcando puntos de control, que son marcas físicas en tierra, que deben ser totalmente identificables desde el aire, luego el dron que es una aeronave no tripulada se programa con una ruta de vuelo, este despegue e inicia tomando las imágenes digitales del área de interés estas imágenes son la base fundamental de la fotogrametría el cual indica, que teniendo dos imágenes que

fueron tomadas desde distintas posiciones pero teniendo una superposición o traslape razonable entre estas dos imágenes se forma una imagen tridimensional o estereoscópico. La tecnología que se usa para el proceso fotogramétrico tanto software como hardware es de última generación esto en razón a que el procesamiento fotogramétrico consume mucho recurso computacional. Punto aparte es el dron que es una aeronave no tripulada que tiene dos sistemas uno el de tierra o de control que sirve para dirigir o programar la ruta de vuelo y la aeronave o dron que es una tecnología bien optimizada que puede realizar vuelos a altura constante o siguiendo la topografía del terreno. Finalmente descargamos y analizamos los datos obtenidos imágenes, se filtra datos erróneos, se procesa estas imágenes en un software fotogramétrico y obtener los resultados como son ortofoto, nube de puntos densa, y modelo 3D con los requerimientos de precisión y calidad previstas con anterioridad. Todos los cálculos y las mejores prácticas se verán durante el desarrollo de la presente tesis.

Formulación del Problema

Problema General

¿De qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar la calidad de un pavimento flexible en la carretera Lima–Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023?

Problemas específicos

¿De qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA y nos permite analizar las características de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores-fantasma cordillera la viuda, 2023?

¿De qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar las fallas de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023?

¿De qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar una evaluación superficial de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta-Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023?

Objetivos

Objetivo general

Determinar de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar la calidad de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta-Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

Objetivos específicos

Identificar de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar las características de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta-Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

Conocer de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar las fallas de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

Conocer de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar una evaluación superficial de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

Hipótesis

Hipótesis general

La aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar la calidad de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

Hipótesis específicas

La fotogrametría con RPA nos permite analizar las características de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

La aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar las fallas de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

La fotogrametría con RPA nos permite analizar una evaluación superficial de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tipo de investigación

La investigación realizada fue de tipo descriptivo, ya que se describen las anomalías del pavimento y cómo serán observadas y aplicadas. El objetivo es determinar la condición del pavimento flexible utilizando un vehículo aéreo no tripulado, según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la investigación descriptiva busca interpretar la condición actual de la naturaleza o el funcionamiento actual de objetos o personas. Esta investigación se enfoca en el presente y tiene como característica principal presentar una interpretación precisa y correcta de la situación, según los mismos autores.

La metodología empleada fue de enfoque cualitativo, lo que implica recopilar y analizar datos no numéricos para comprender conceptos, opiniones o experiencias, así como datos sobre experiencias vividas, emociones o comportamientos, con los significados que las personas les atribuyen, por esta razón, los resultados se expresan en palabras (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Diseño de la investigación

La investigación adoptó un diseño no experimental debido a que no se manipuló la variable independiente, este tipo de diseño se caracteriza por ser empírico y sistemático, y no implica una manipulación intencional de las variables en estudio, en otras palabras, la investigación se basa en la observación y medición de variables que ya han ocurrido en el entorno natural, este enfoque es común en estudios descriptivos y correlacionales, en los cuales se busca describir o analizar la relación entre variables sin intervenir en su curso natural (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Asimismo, la investigación adoptó un enfoque transversal, lo que significa que se llevó a cabo en un momento específico del tiempo, sin seguimiento longitudinal de los participantes o de la variable en estudio, este enfoque permite recolectar datos de una muestra de participantes en un momento determinado, sin la necesidad de seguirlos en el tiempo, es útil para estudios descriptivos o para analizar la prevalencia de una enfermedad o condición en una población en un momento determinado (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). En el caso de la investigación sobre la calidad del pavimento flexible, el enfoque transversal permitió obtener una instantánea de la condición del pavimento en el momento de la medición.

Población y Muestra

Unidad de Estudio

Fue el pavimento flexible, la cual es uno de los tipos de pavimento más comunes en carreteras y se utiliza para resistir la acción del tráfico vehicular y las cargas dinámicas. Está compuesto por una capa superficial de asfalto, una capa intermedia de agregados y una capa de base que puede estar compuesta por diferentes materiales.

Población

Hernández, Fernández y Baptista (2014) definen la población como un conjunto de casos que cumplen con ciertas características específicas, también conocido como universo, se utiliza para referirse a todos los casos que se desean estudiar en una investigación.

Para la investigación la población utilizada fue la carretera Lima – Canta-Huayllay.

Muestra

La muestra para Hernández, Fernández y Baptista (2014) se define como un subconjunto de la población que se utiliza para hacer inferencias sobre la misma, la

selección de una muestra se realiza con el fin de ahorrar recursos y tiempo, aunque es necesario obtener información de la población para generalizar los resultados.

Para la investigación la muestra fue la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, ubicada a 4,682 msnm con un camino sinuoso y con un abismo de más de 400 metros al lado. El tipo de muestra es por conveniencia debido a la trabajabilidad y la facilidad del vuelo en el tramo mencionado.

Técnicas, Instrumentos y Procedimiento de Recolección de Datos

Técnicas de Recolección de Datos

La técnica se define como un conjunto de herramientas y elementos utilizados en una disciplina específica para llevar a cabo un método particular, mientras que el método es un conjunto de etapas y procedimientos aplicados en la investigación que se aplica a más de una disciplina científica, según Hernández, Fernández y Baptista (2014).

En la investigación en cuestión, se utilizaron varias técnicas, incluyendo la observación, que es un método de recolección de datos que implica la observación sistemática y confiable de situaciones y comportamientos utilizando subcategorías y categorías específicas, también se empleó la técnica documental, que implica el uso de fuentes de información escritas, almacenadas o recopiladas, como libros, periódicos, materiales grabados, imágenes y estadísticas, además, la técnica de fichaje se usa para recolectar y almacenar información en fichas con datos variables y extensión referentes a un tema en particular (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Instrumentos

De acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista (2014), los instrumentos de recolección de datos son utilizados en conjunto con las técnicas de investigación para lograr los objetivos establecidos, estos instrumentos se refieren a los medios y

herramientas empleados para almacenar la información o datos recolectados durante el proceso de investigación, es por ello que la utilización adecuada de estos instrumentos es crucial para obtener información confiable y válida que permita dar respuesta a la problemática planteada en la investigación.

Los instrumentos que se emplearon para las variables de esta investigación son los siguientes:

- Hoja de registro.
- Programas.

Procedimientos de Recolección de Datos

Para realizar la evaluación superficial del pavimento flexible se tuvo en cuenta los siguientes pasos:

- Inspeccionar el lugar realizando un recorrido visual, analizando la carretera.
- Determinar las unidades de muestreo
- Identificar los tipos de fallas y los niveles de severidad, con información obtenida se calculó la densidad.
- Determinar el valor deducido.
- Obtener los valores deducidos corregidos.
- Determinar la condición del pavimento.

Tabla 1

Diagrama de flujo

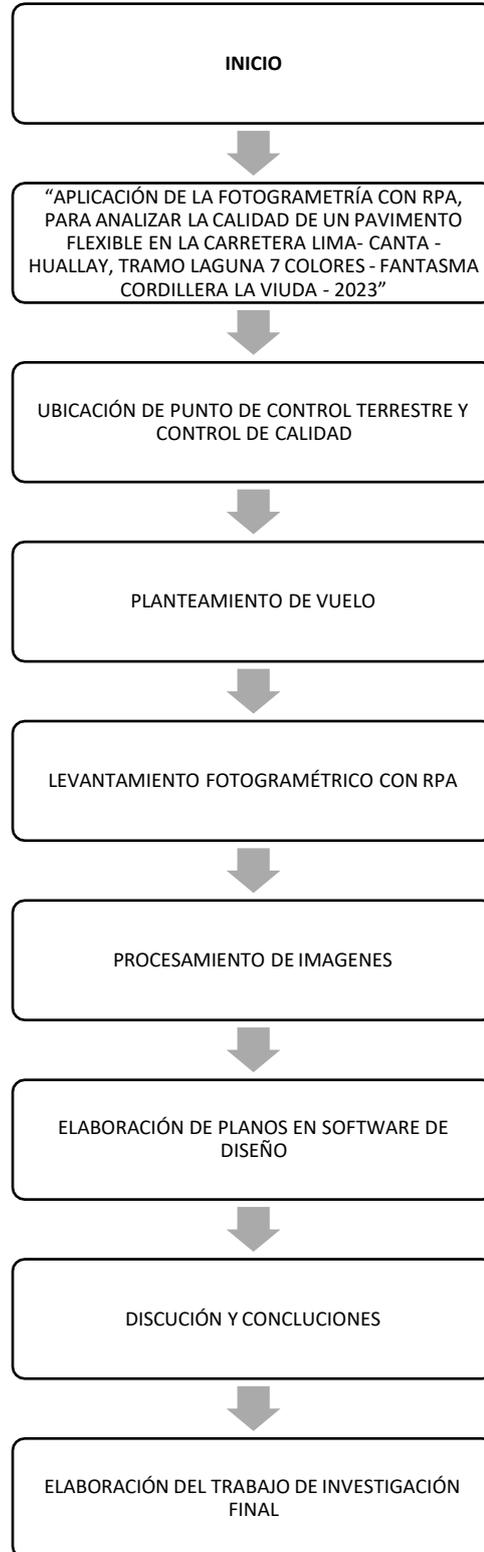


Tabla 2

Diagrama de ubicación de punto de control

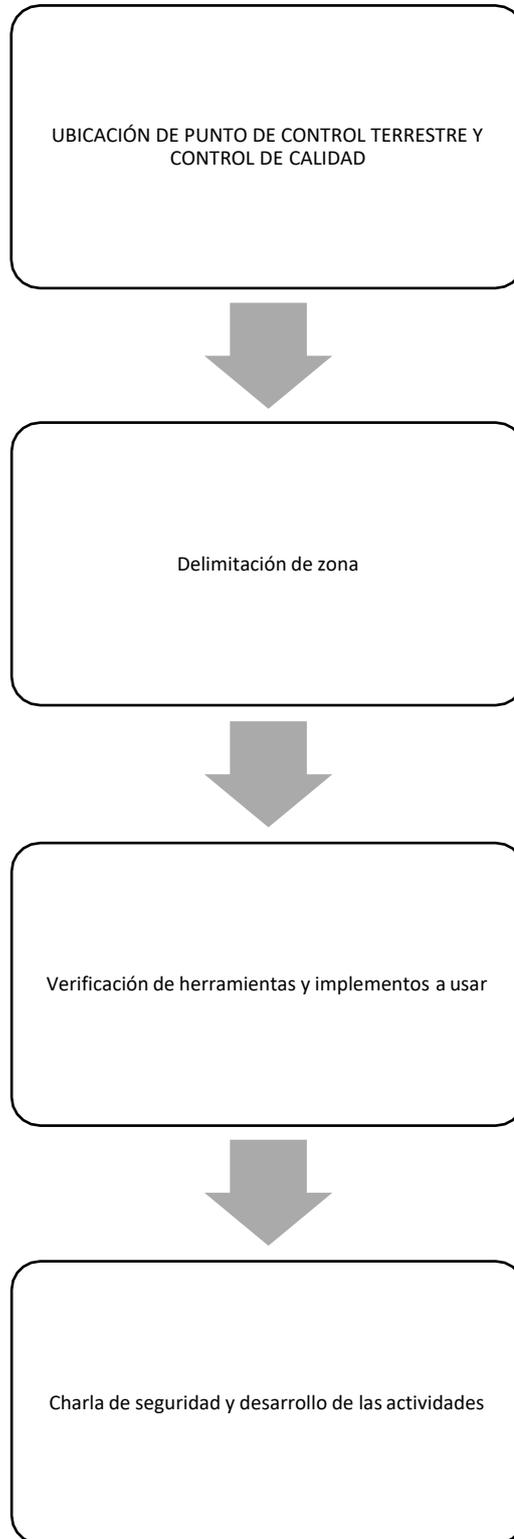


Tabla 3

Diagrama de planteamiento de vuelo

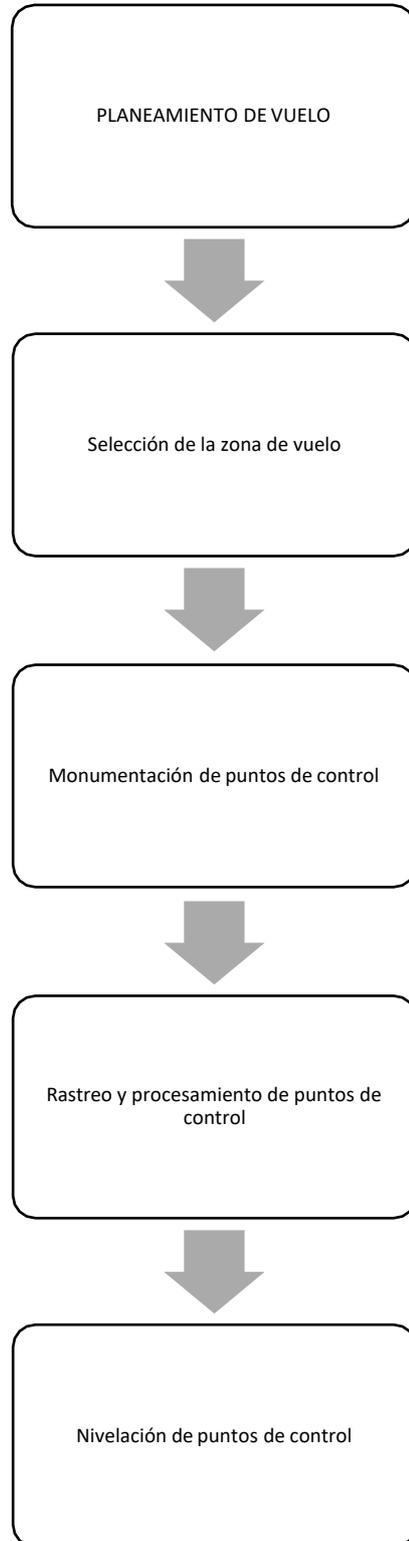
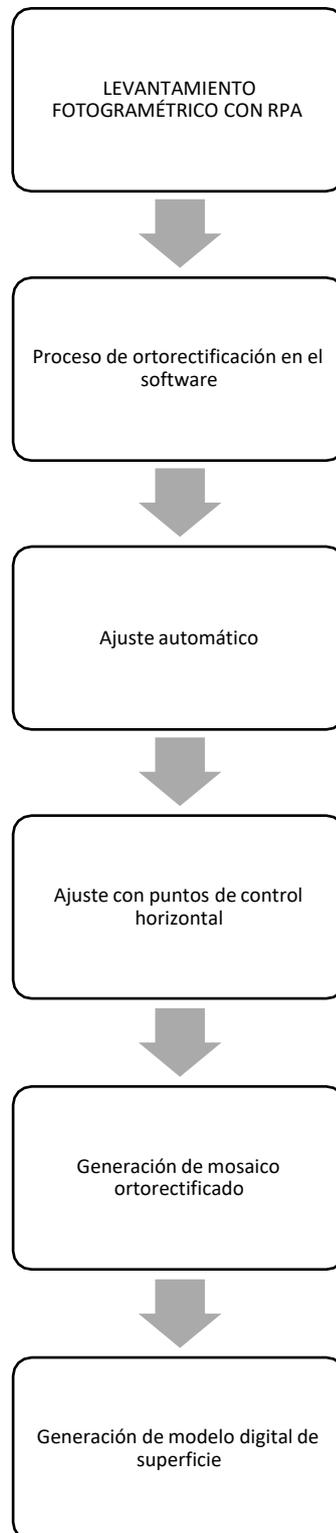


Tabla 4

Diagrama de levantamiento fotogramétrico con RPA



Para Analizar los Datos

Se emplearon aplicaciones en la cual nos ayudarán a obtener información del pavimento flexible, esto nos hace comprender que para llevar a cabo un proyecto de investigación debemos usar programas que puedan procesar los datos que obtendremos de la investigación, para que se utilicen programas como Excel, además de usar este software, debemos verificar e interpretar los resultados descartados realizados por cada objetivo.

Elaboración de Mapa de Zonificación

Figura 14

Mapa de zonificación



Nota. Obtenido de *Google Earth* [Fotografía] (<https://www.google.com/intl/es/earth/>).

Figura 15

Mapa de zonificación -Laguna los 7 colores



Nota. Obtenido de *Google Earth* [Fotografía] (<https://www.google.com/intl/es/earth/>).

Aspectos Éticos

Este código de ética tiene como finalidad fortalecer una cultura de principios y valores regular los deberes y responsabilidades que deben tener en cuenta los investigadores (docentes, estudiantes y colaboradores) durante todo el proceso de investigación, para salvaguardar en todo momento la integridad de las personas y animales que sean objeto o parte del estudio, para garantizar la confidencialidad de los resultados obtenidos y

salvaguardar los derechos de autor y propiedad intelectual de las fuentes que utilizaremos en el proceso de investigación. (Código de Ética del Investigador Científico UPN [CEICUPN], 2016, p. 3)

Esta investigación se basa en los principios éticos señalados en el Código de Ética del Investigador Científico UPN.

Humanidad. “Los investigadores serán considerados en todo momento como personas con principios y derechos fundamentales que le asiste su naturaleza humana y las leyes del Estado Peruano”. (Código de Ética del Investigador Científico UPN, 2016, Artículo 11)

Justicia. “Se respetarán los acuerdos previos a la investigación y se le otorgara a cada investigador los beneficios establecidos”. (Código de Ética del Investigador Científico UPN, 2016, Artículo 12)

Igualdad. “Todos los investigadores de la Universidad recibirán las mismas consideraciones sin distinción alguna, procurando en siempre el respeto y el cumplimiento de sus derechos”. (Código de Ética del Investigador Científico UPN, 2016, Artículo 13)

Veracidad. “Los investigadores deberán proceder con imparcialidad y se lo más exactos posibles en sus investigaciones, de acuerdo al espacio y contexto en el que se realizan”. (Código de Ética del Investigador Científico UPN, 2016, Artículo 14)

Además, se ha procurado mantener la originalidad de la investigación, para lo cual se han integrado nuestras ideas. También se han incluido otras ideas de autores, los cuales han sido citados de forma correcta y sus obras han sido consideradas en las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Técnicas e Instrumentos para la Recolección y Análisis de Datos.

Ubicación: El lugar donde se realizó el vuelo de RPA se encuentra ubicado en el departamento de Junín provincia de Yauli distrito de Marcapomacocha - CC. PP Yantac con una altura de 4682 m.s.n.m. a la cual es limítrofe con los departamentos de Lima y Cerro de Pasco. El tramo de vuelo fue en la carretera 20A Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda.

Figura 16

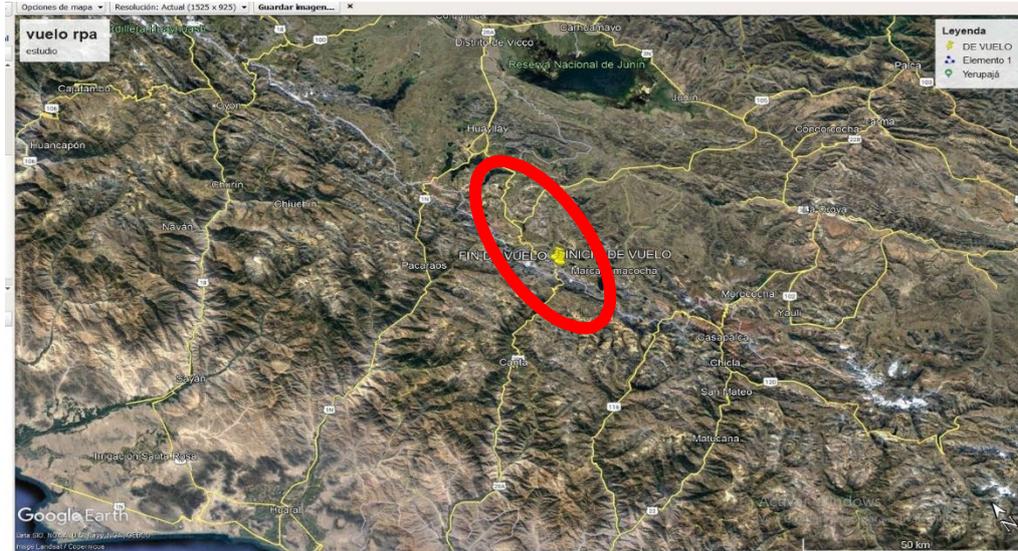
progresiva.



Nota: se puede observar la progresiva del inicio del tramo a realizar el vuelo para la investigación

Figura 17

Localización y ubicación del lugar de estudio.



Nota. En esta imagen se visualiza la ubicación, obtenido de Google Eart Pro.

Técnicas. Para siguiente investigación usamos la técnica de observación o visualización.

Instrumentos e Equipos. Para la siguiente investigación los equipos empleados para la ejecución de los trabajos del levantamiento topográficos RPA son los siguientes:

- Movilidad
- Dron modelo evo 2 pro
- Celular
- Mando inalámbrico
- 4 baterías

- maletín y conexiones
- micro SD
- laptop

Por otra parte, para el procesamiento de datos e imagen se ha utilizado software como:

- Agisoft metasahpe
- Excel
- Word
- Google Earth
- Civil 3D

Figura 18

Instrumentos del DRON evo 2 pro



Nota. se puede visualizar los instrumentos que usa el DRON evo 2pro que corresponde a 4 baterías control de mando inalámbrico maletín y conexiones. Imagen obtenida de la ficha técnica de Autel evo 2 pro.

Procedimiento.

Para la recolección de datos se usó el método indirecto que se realizó un vuelo fotogramétrico con el DRON evo 2 Pro la cual capturo o realizo las tomas fotográficas de alta calidad y alta resolución tomando un total de 1058 imágenes. Las cuales posteriormente serán procesadas en el software Agisoft metashape.

Análisis de campo y reconocimiento del lugar de vuelo.

Una vez ya trasladado el equipo y el recurso humano para hacer el vuelo se realiza un recorrido visual con la movilidad para tener claro el área de estudio y el tramo a analizar la cual serán tomadas y levantadas en tiempo real, donde se debe tener en cuenta las siguientes observaciones antes del vuelo.

- Consideraciones del clima
- Consideración del plan de vuelo
- Escala de la fotografía
- Resolución del pixel GSD altura de vuelo
- Planificación de vuelo con RPA
- Control de vuelo
- Características del RPA
- Overlap

Tabla 5

Especificaciones de vuelo

Especificaciones de vuelo	Rango aceptable
Resistencia al vuelo	25-30 k/h
Altitud	4680 m.s.n.m.
Tipo de vuelo	Manual/Autónomo
Limitaciones climáticas	Lluvia
Tipo de batería	Polímero de litio
Temperatura	5°C a 40°C
Altura de vuelo	800m AGL
Resolución del Sensor	
Tiempo de vuelo	40 min ²
Rango de vuelo	60 km
Velocidad de Crucero	80 km/h
Traslape	60% 70%

Figura 19

Reconocimiento del área análisis del pavimento en la carretera



Nota. en la figura se puede observar el lugar de la carretera donde aremos el vuelo del DRON para el análisis del pavimento flexible. Imagen obtenida

(https://www.youtube.com/watch?v=uAHrg2ASZKQ&ab_channel=EdmundoVereau)

Descripción del Post Procesamientos de Imágenes.

En esta etapa realizaremos el procesamiento de imágenes con la ayuda de softwares fotogramétricos que son algoritmos especializados en unión y tratamiento de imágenes digitales que parten desde la creación de una carpeta de fotos y posteriormente llevando a un modelo tridimensional georreferenciado, orto mosaico rectificado, creación de nubes de puntos de alta densidad y también se puede llevar a crear nubes de puntos en las coordenadas X, Y, Z.

Etapas de Levantamiento Fotogramétricos.

Programación de Vuelo.

Para dar inicio el vuelo comenzamos con la programación, donde se toma en cuenta los detalles que no haya obstáculos en la vía como cerros altos que obstaculicen la vista del DRON para su recorrido y cumpla con el plan de vuelo.

Figura 20

Inicio de plan de vuelo y programación



Nota. En esta imagen podemos observar que se dará inicio al plan de vuelo del primer tramo de la vía o carretera.

Despegue del DRON.

Ya culminada la programación y planificación del vuelo se dará inicio al despegue y empezará a hacer sus primeras capturas de imágenes.

Figura 21

Despegue del DRON



Nota. Se puede observar ya dando inicio al vuelo y despegue de la superficie para hacer el recorrido programado en el plan de vuelo.

Recorrido del Plan de Vuelo y Seguimiento.

En esta etapa se hace la inspección mediante el control de mando inalámbrico y se puede visualizar por la pantalla de un teléfono móvil que previamente tiene el software instalado que se usa en el Smartphone donde puedes visualizar la ruta del recorrido.

Figura 22

Seguimiento del plan de vuelo



Nota. en esta imagen se puede ver cómo estamos haciendo el recorrido del vuelo mediante el smartphone y el control de mando.

Finalización de Vuelo Retorno a Casa.

En esta etapa ya una vez terminada su misión el DRON se dirige a retornar al punto de partida(casa) y con ellas termina las tomas del primer tramo de la carretera 20A Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda.

Por otra parte, cabe resaltar para este análisis de la carretera hicimos los vuelos en tres tramos siguiendo los mismos procedimientos por cada tramo.

Tabla 6

Distancia por tramos

Tramo 1	499 mt
---------	--------

Tramo 2	503 mt
Tramo 3	508 mt
Distancia total	1510 mt

Figura 23

Retorno de la misión a casa



Nota. Se puede observar en la figura el aterrizaje del DRON en esta oportunidad aterrizo sobre la palma de la mano y no en la superficie(suelo)

Misión de vuelo tramo 1

Figura 24

Programación de vuelo 1



Nota. Se muestra en la figura la programación de recorrido de 4 pasadas rectangular a una altura de 60 metros

Misión de vuelo tramo 1.1 velocidad y GSD

Figura 25

Velocidad GSD



Nota. en la imagen se puede visualizar que tiene una velocidad de 18Km/h y su relacion a la superficie GSD es 1.36cm/pixl

Misión de Vuelo Tramo 1.2 Superposición Frontal.

Figura 26

Visualización de superposición



Nota. se observa en la imagen que su superposición frontal es de 80%

Misión de Vuelo Tramo 1.3 Solapamiento Lateral.

Figura 27

Visualización solapamiento lateral



Nota. Como se muestra en la figura el solapamiento lateral es de 70%

Misión de Vuelo Tramo 2

Figura 28

Programación de vuelo 2



Nota. Se observa en la figura la programación de recorrido de 5 pasadas rectangular a una altura de 60 metros

Misión de Vuelo Tramo 2.1 Velocidad y GSD

Figura 29

Velocidad GSD



Nota. en la imagen se puede observar que tiene una velocidad de 18Km/h y su relacion a la superficie GSD es 1.36cm/pix

Misión de Vuelo Tramo 2.2 Superposición Frontal.

Figura 30

Visualización de superposición



Nota. se observa en la imagen que su superposición frontal es de 80%

Misión de Vuelo Tramo 2.3 Solapamiento Lateral.

Figura 31

Visualización solapamiento lateral



Nota. Como se visualiza en la figura el solapamiento lateral es de 70%

Misión de Vuelo Tramo 3

Figura 32

Programación de vuelo 3

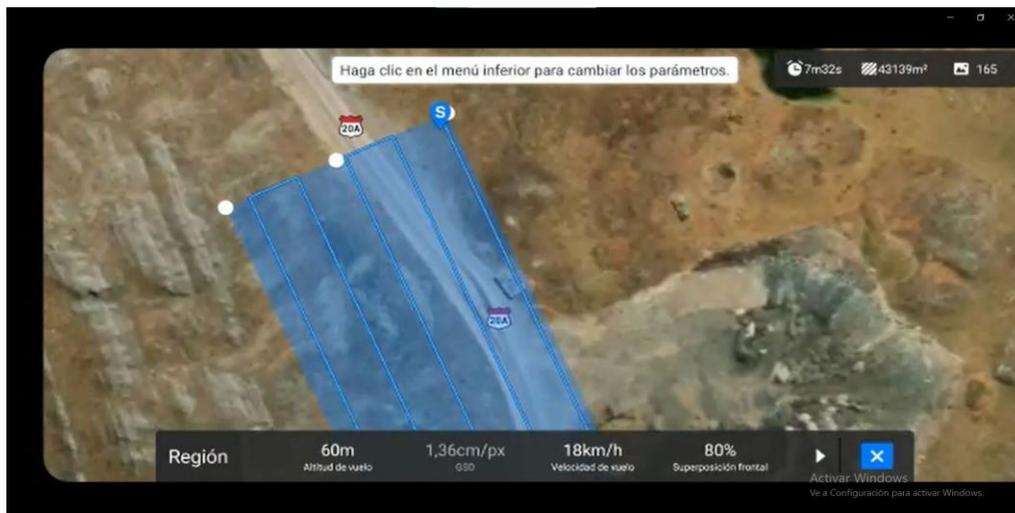


Nota. Se visualiza en la figura la programación de recorrido de 5 pasadas a una altura de 60 metros.

Misión de Vuelo Tramo 3.1 Velocidad y GSD

Figura 33

Velocidad GSD



Nota. En la figura se puede observar que tiene una velocidad de 18Km/h y su relación a la superficie GSD es 1.36cm/pix.

Misión de Vuelo Tramo 3.2 Superposición Frontal.

Figura 34

Visualización de superposición



Nota. Se visualiza en la imagen que su superposición frontal es de 80%

Misión de Vuelo Tramo 3.3 Solapamiento Lateral.

Figura 35

Visualización solapamiento lateral



Nota. Como se observa en la figura el solapamiento lateral es de 70%

Procesamiento de Resultados de las Misiones de Vuelo.

Para el procesamiento y análisis de las imágenes se utilizó el software Agisoft Metashape, cual en la actualidad es uno de lo más usado y práctico. Su procesamiento es

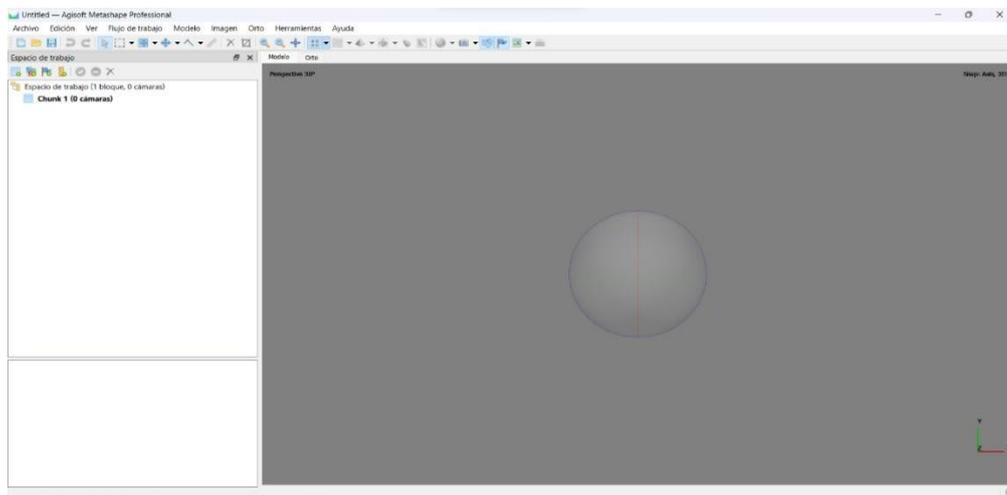
sencillo para trabajos profesionales, ya que cuenta con herramientas altamente eficientes. Se pueden realizar curvas de nivel, crea imagen tesela, crea mallas, elevaciones, enmascara objetos que no son de la superficie, filtrado de vegetación y también se puede exportar a otros softwares; por ejemplo, al Civil 3D.

Post proceso de las imágenes.

Paso numero 1

Figura 36

Ventana principal.

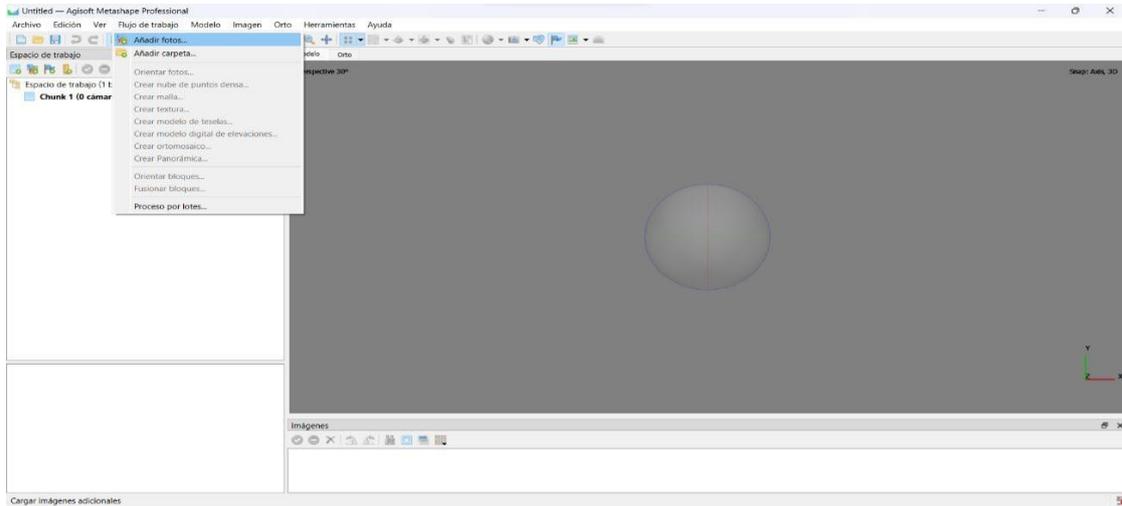


Nota. En esta figura se puede visualizar la ventana principal del software Agisoft profesional y las áreas de trabajo.

Paso numero 2

Figura 37

Ventana principal.

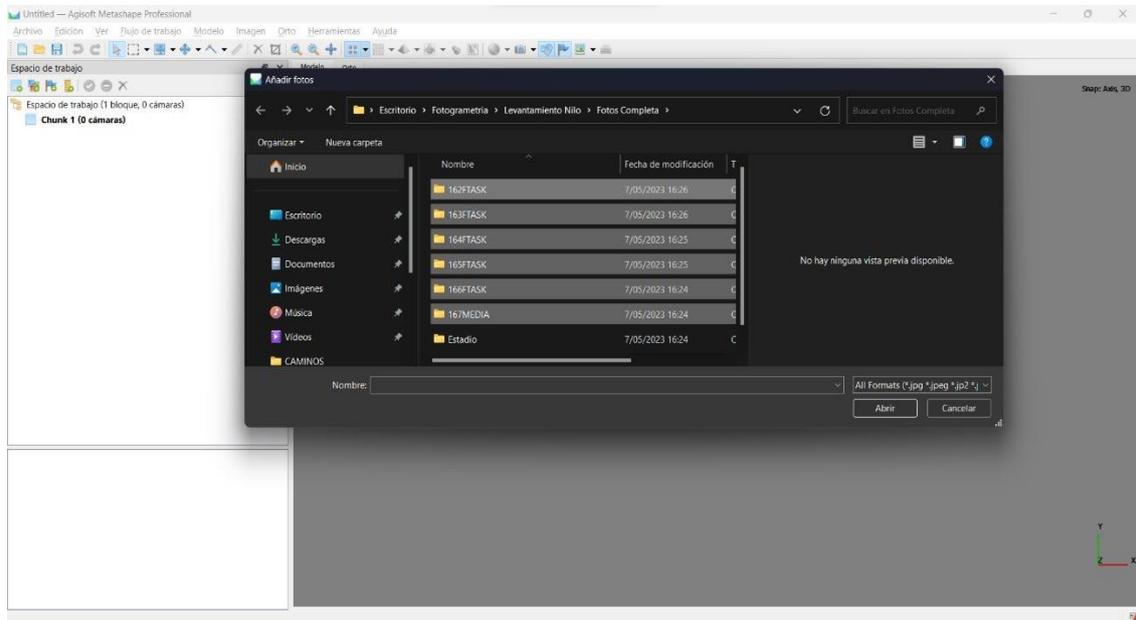


Nota. En esta figura se observa todo el proceso a seguir desde añadir las imágenes hasta llegar al ortomosaico o modelado en 3D.

Paso numero 3

Figura 38

Carpeta de imágenes

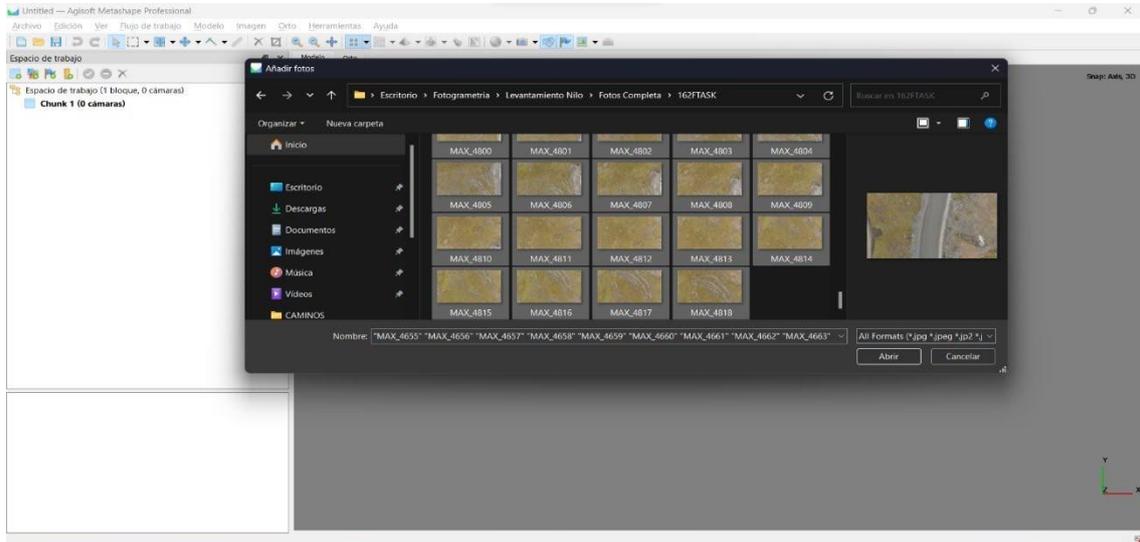


Nota. En la imagen se puede observar la carga de carpetas para el levantamiento.

Paso 3.1

Figura 39

Fotos Carpeta 1

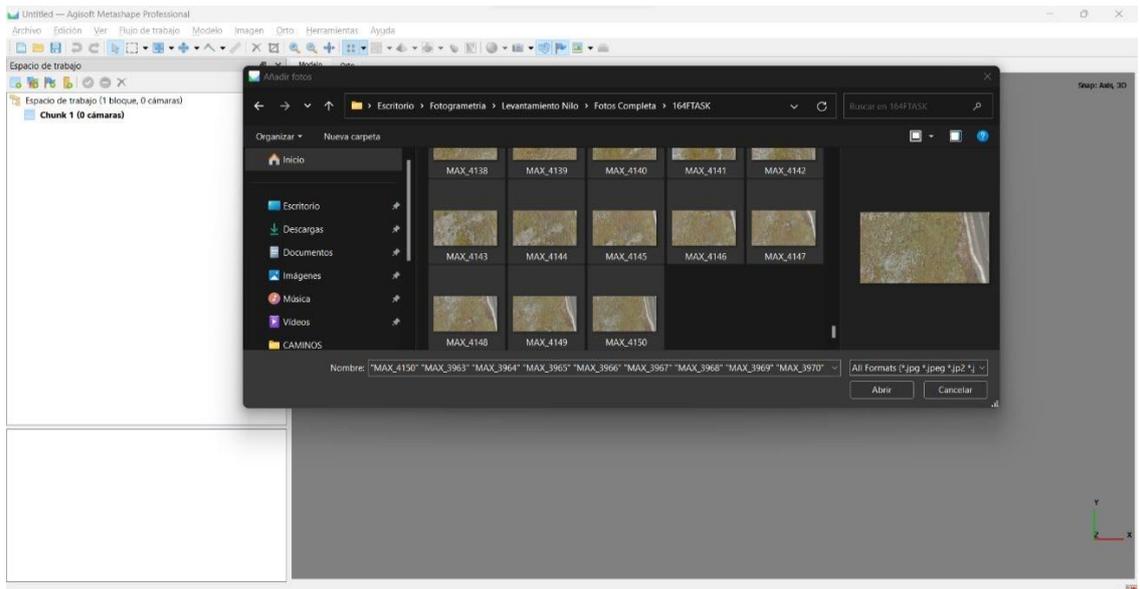


Nota. Se observa que se inserta todas las fotos de la carpeta 1.

Paso 3.2

Figura 40

Fotos carpeta 2

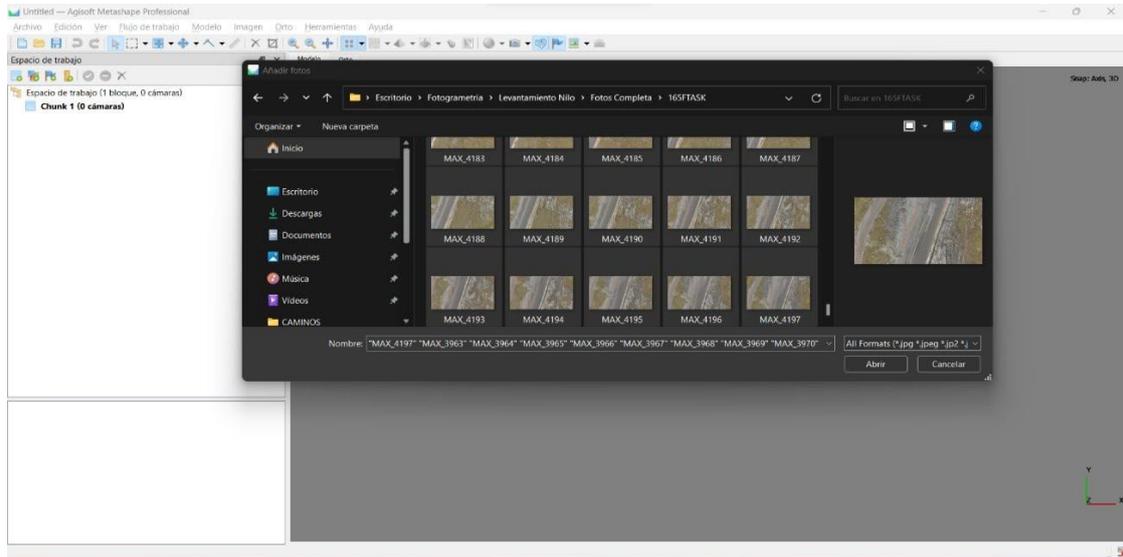


Nota. Se puede visualizar que se inserta las fotos de la carpeta 2

Paso 3.3

Figura 41

Fotos carpeta 3

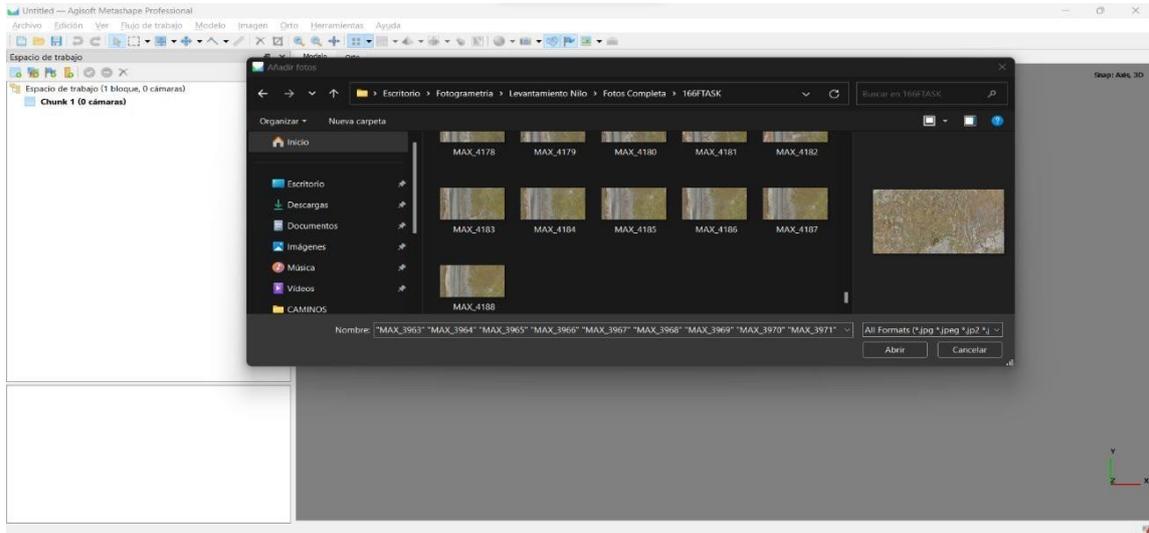


Nota. Se muestra en la figura la importación de las imágenes de la carpeta 3.

Paso 3.4

Figura 42

Fotos carpeta 4

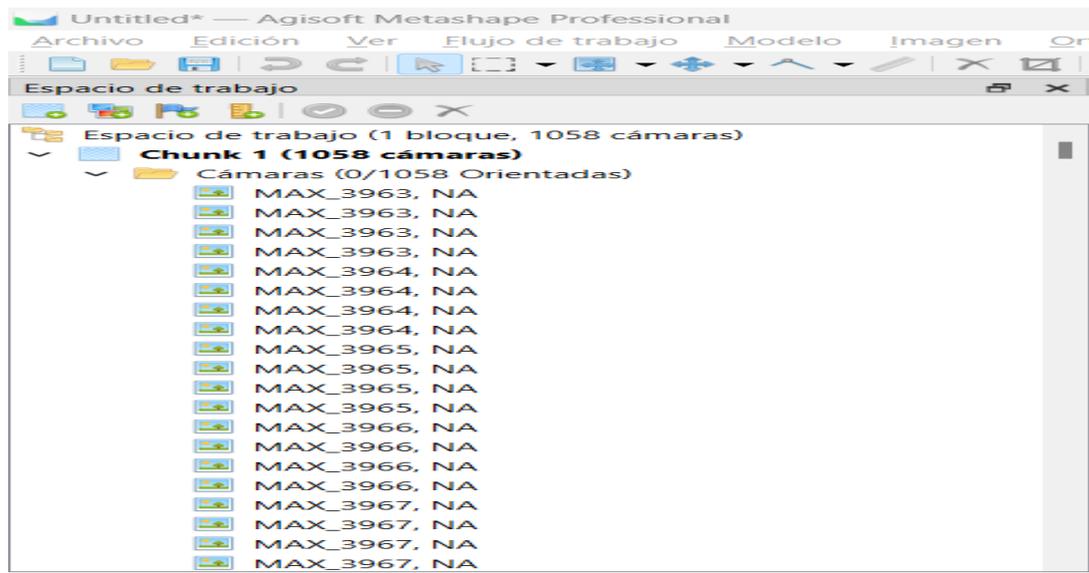


Nota. Se muestra en la figura la importación de las fotos de la carpeta 4

Paso 3.5

Figura 43

Fotos carpeta 5

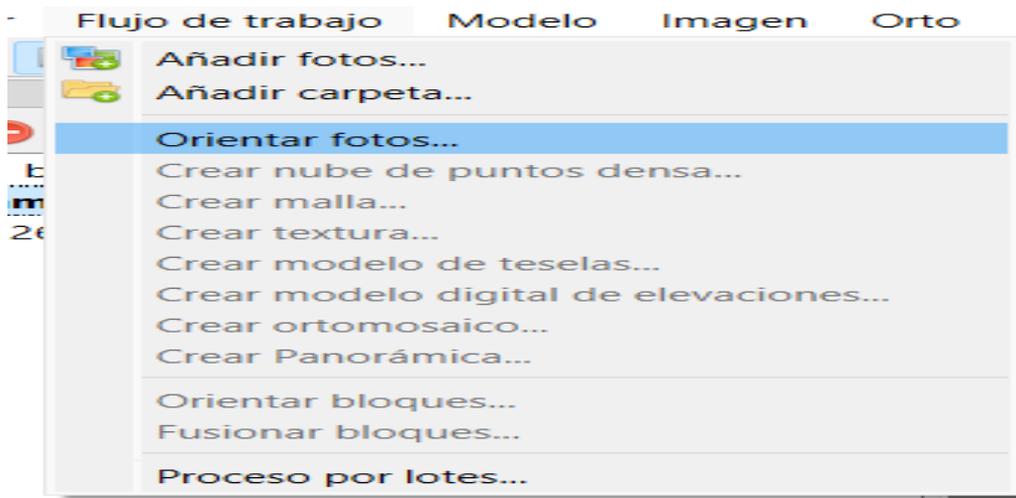


Nota. En la imagen se muestra la importación de todas las fotos de las carpetas 1;2;3;4 que hacen un total 1058 imágenes.

Paso numero 4

Figura 44

Orientación de fotos

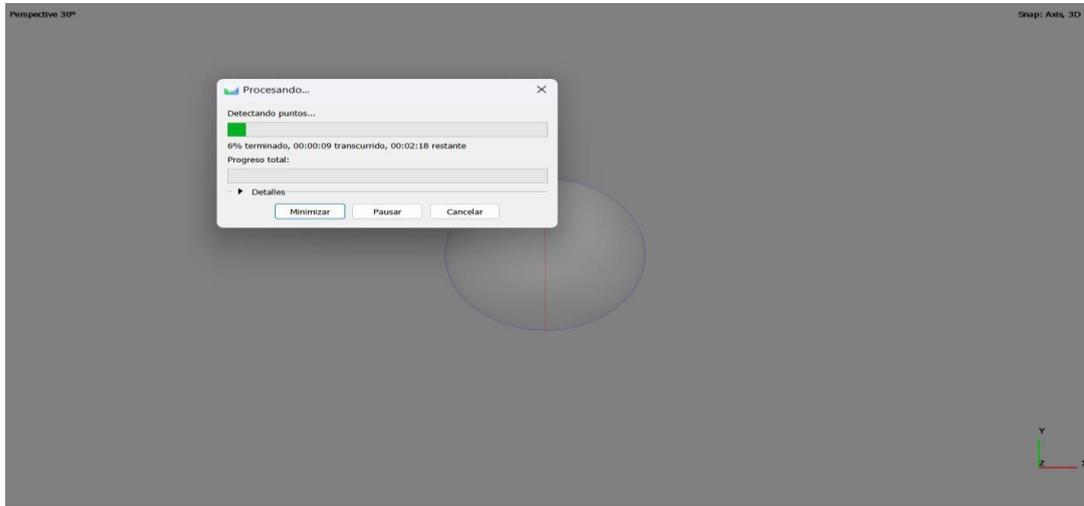


Nota. Como se visualiza en la figura en la barra de tarea comenzaremos a hacer el proceso de orientar las fotos y deben estar alineadas.

Paso 4.1

Figura 45

Orientación de fotos

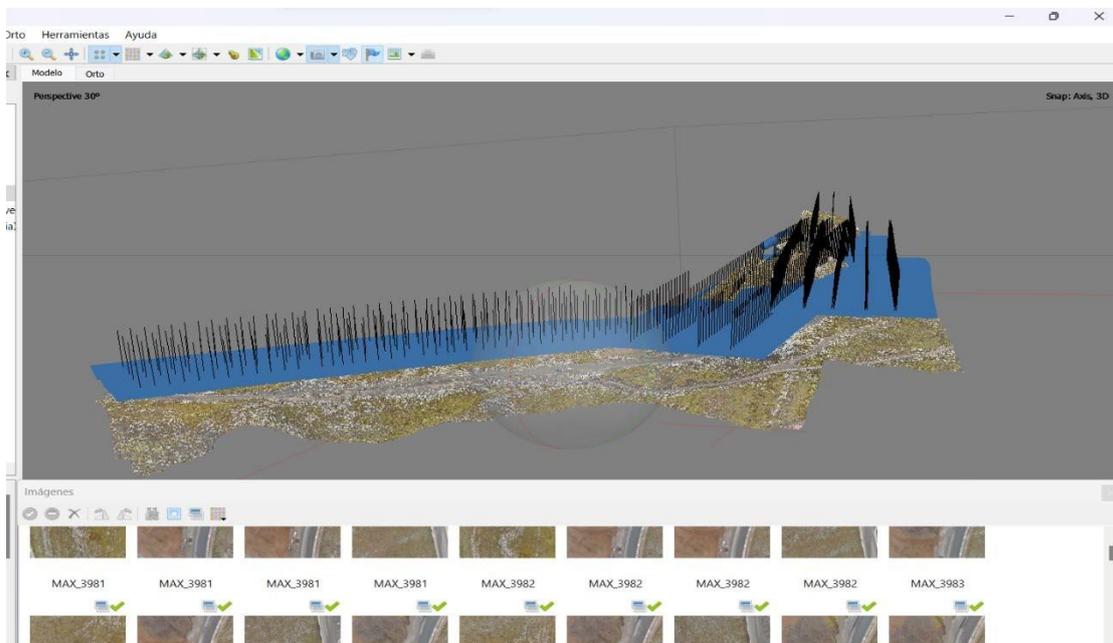


Nota. En esta figura se observa la ventana de orientación de las fotos y en seguida nos da la opción de seleccionar la calidad de producto a procesar.

Paso 4.2

Figura 46

Orientación de fotos

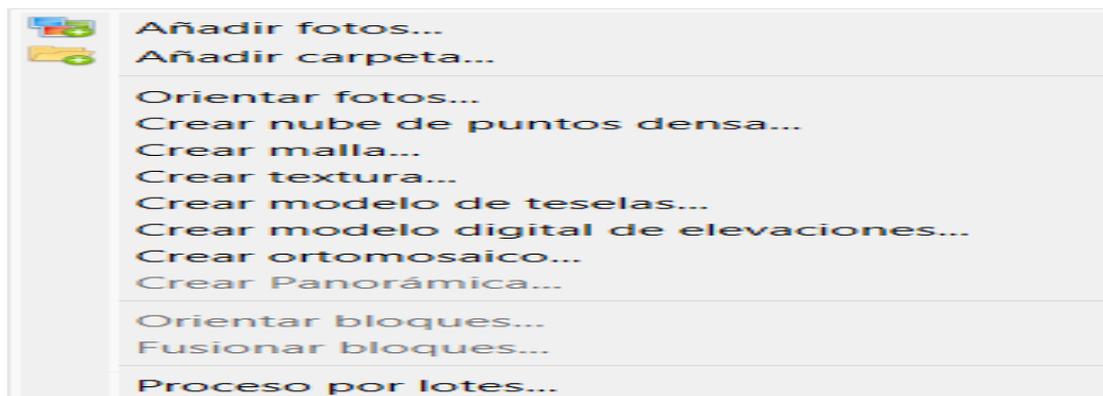


Nota. Se muestra en la figura la finalización de las fotos orientadas donde ya dan comienzo al modelado de la carretera.

Paso numero 5

Figura 47

Procesamientos generales



Nota. Se puede observar en la figura la ventana flujo de trabajo todo el procesamiento que se va a realizar.

Paso numero 6

Figura 48

Nube de puntos densa

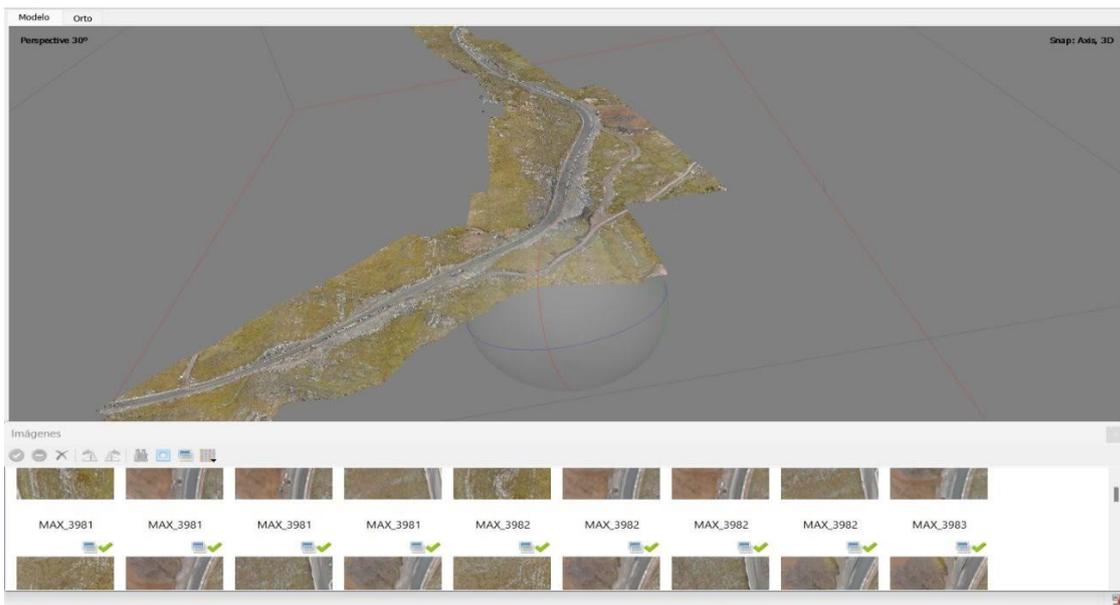


Nota. En la figura se muestra la ventana flujo de trabajo > crear nube de puntos densa nos brindara la profundidad de cada cámara para mostrar el enturbiamiento en un solo punto.

Paso 6.1

Figura 49

Resultado de nubes punto densa.



Nota. Podemos observar en la figura que terminado el proceso de crear nube de puntos denso se puede visualizar en planta.

Paso numero 7

Figura 50

Crear malla

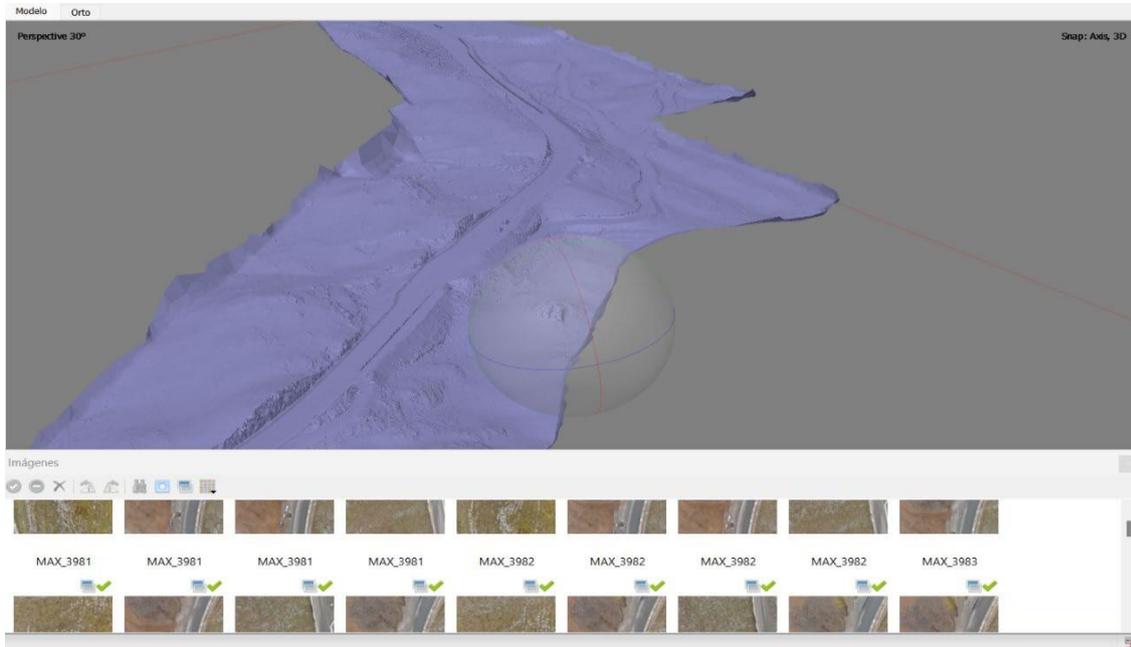


Nota. Cómo se puede observar en la figura ya teniendo la información de nubes de punto densa ya se puede crear malla que consiste en hacer o reconstruir un modelo poligonal.

Paso 7.1

Figura 51

Resultado de creación de malla

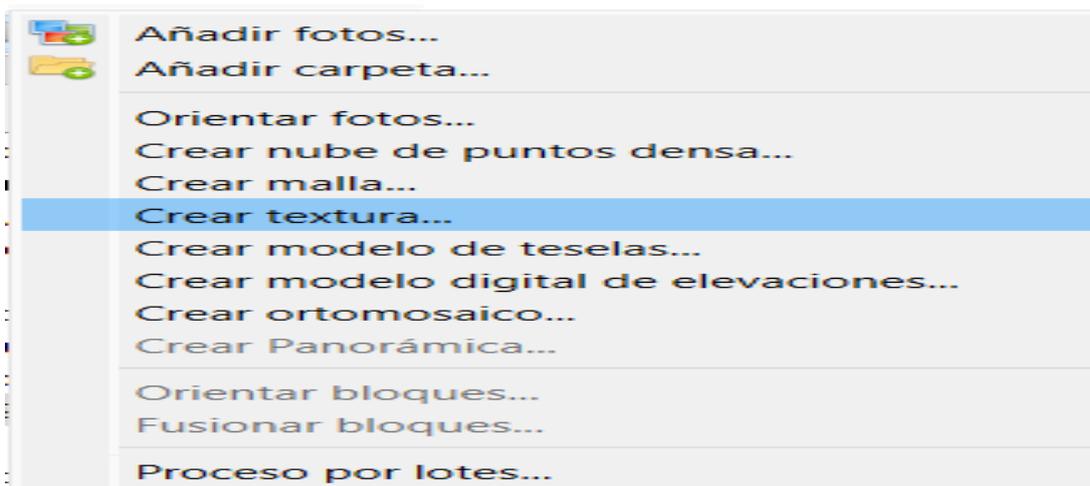


Nota. Se observa en la figura el resultado final de la creación de malla.

Paso número 8.

Figura 52

Crear textura



Nota. Se puede observar en la figura la ventana para crear textura esto será a partir de la creación de la malla y también tenemos la opción de cambiar color relleno y agujeros.

Paso 8.1

Figura 53

Resultado de textura

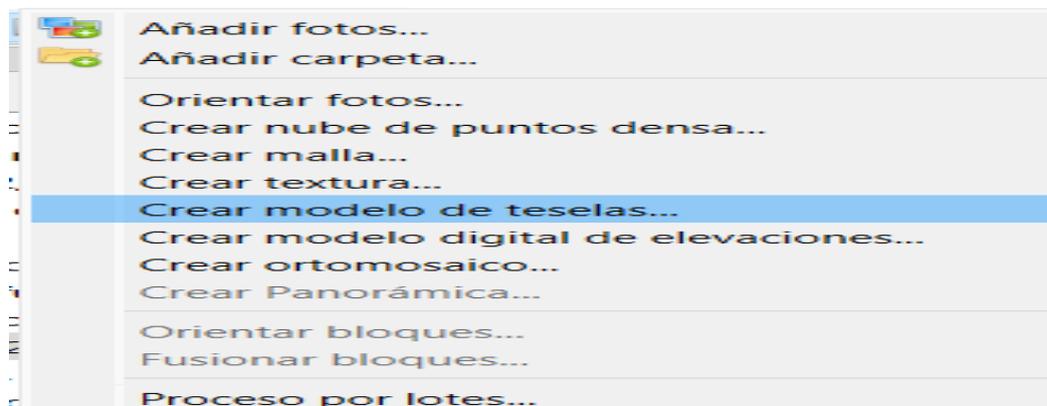


Nota. Se visualiza en la figura el resultado de la creación del texturizado

Paso numero 9

Figura 54

Creación de modelo teselas

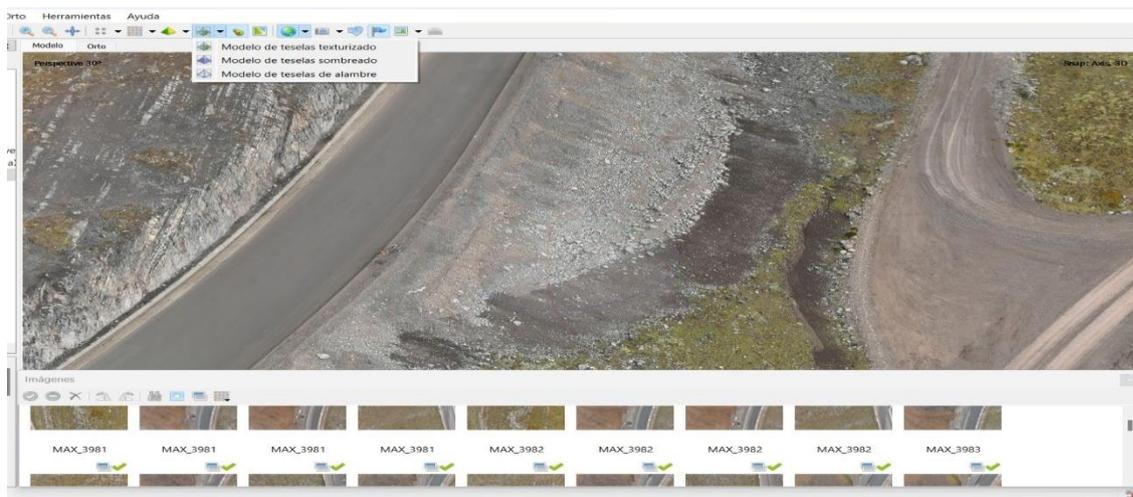


Nota. En esta figura se ve el proceso de crear el modelo teselas es ya el post modelado al 3D y ya se va formando el modelamiento.

Paso 9.1

Figura 55

Modelo de teselas



Nota. Se observa en la figura que ya va obteniendo el resultado de la creación de teselas, como información ya cuenta con modelo de teselas texturizado, modelo de teselas sombreado, modelo de teselas de alambre.

Paso 9.2

Figura 56

Resultado creación de teselas

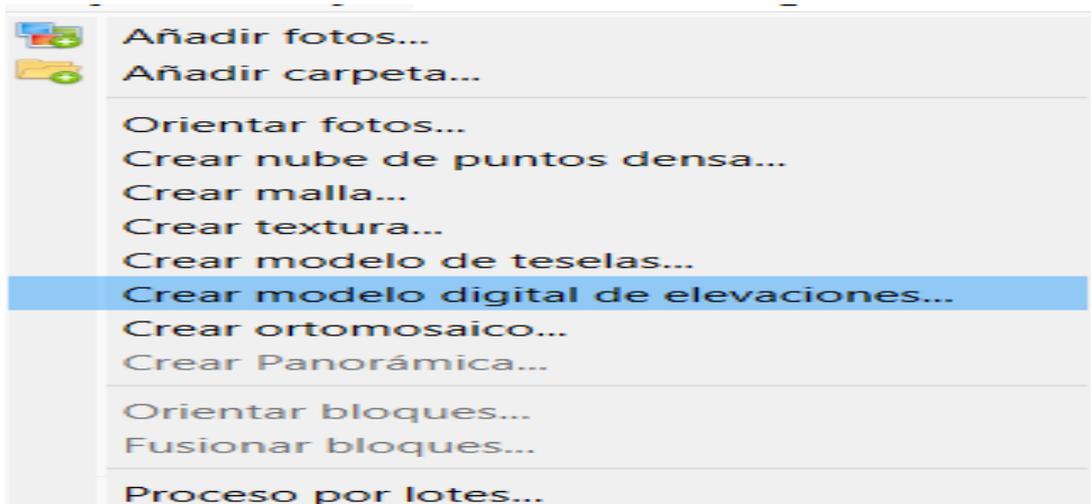


Nota. Se observa en la figura ya el resultado donde se ha creado el modelo de teselado, modelo de texturizado y malla en 3D.

Paso numero 10

Figura 57

Creación MDE

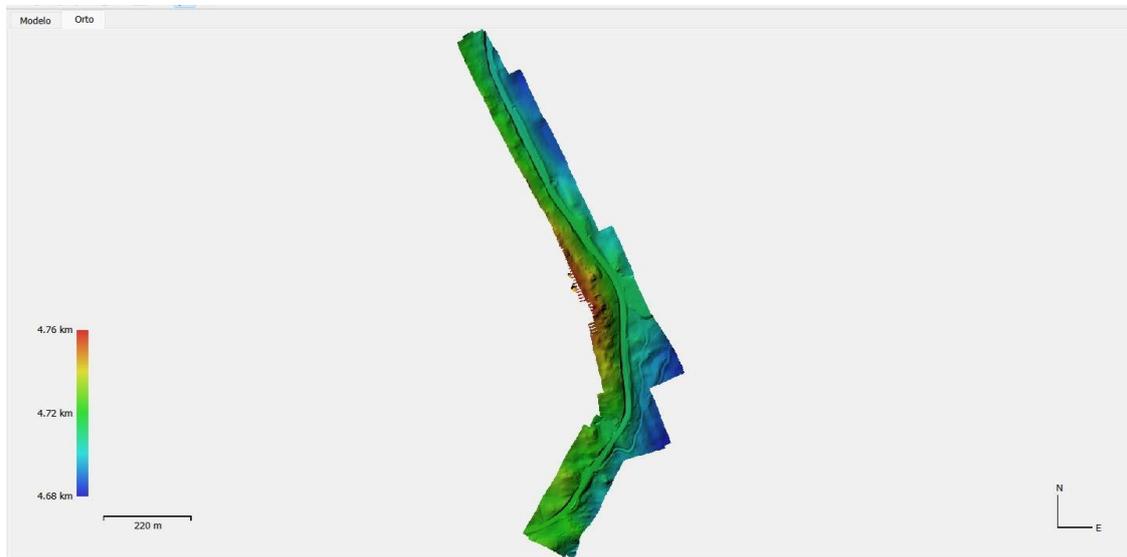


Nota. En esta figura se puede ver la ventana de crear modelo digital de elevaciones (MDE) Es la parte esencial y muy importante ya que nos dará información y a partir de estas imágenes RASTER nos dará modelamientos como curvas de nivel, modelo digital del terreno y también ya se puede observar el punto más alto el levantamiento con respecto a la superficie de metros nivel del mar.

Paso 10.1

Figura 58

Resultado MDE

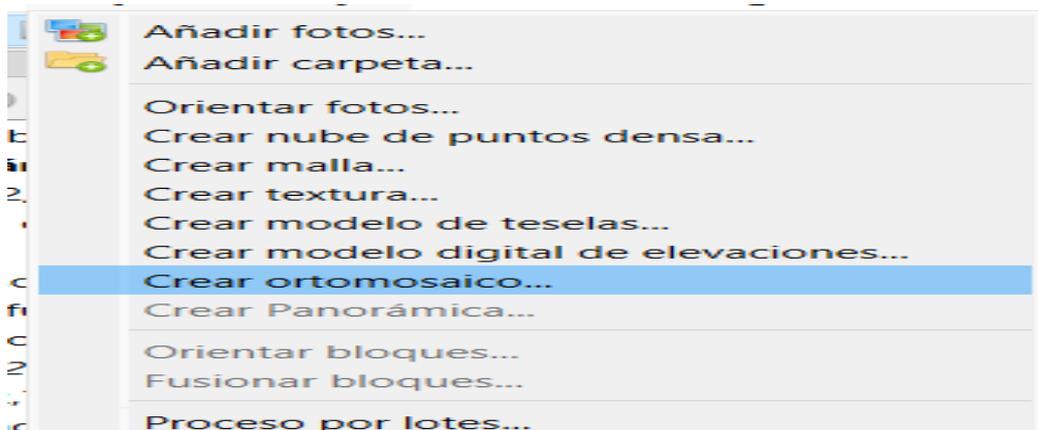


Nota. En la figura se visualiza el resultado del modelamiento digital de elevaciones.

Paso numero 11

Figura 59

Crear Ortomosaico.



Nota. En esta figura se observa cómo crear ortomosaico que es uno de los procesos pesados ya que intercambian informaciones espectrales de bandas georreferenciales de este punto se pueden exportar a diferentes softwares.

Paso 11.1

Figura 60

Creación de ortomosaico

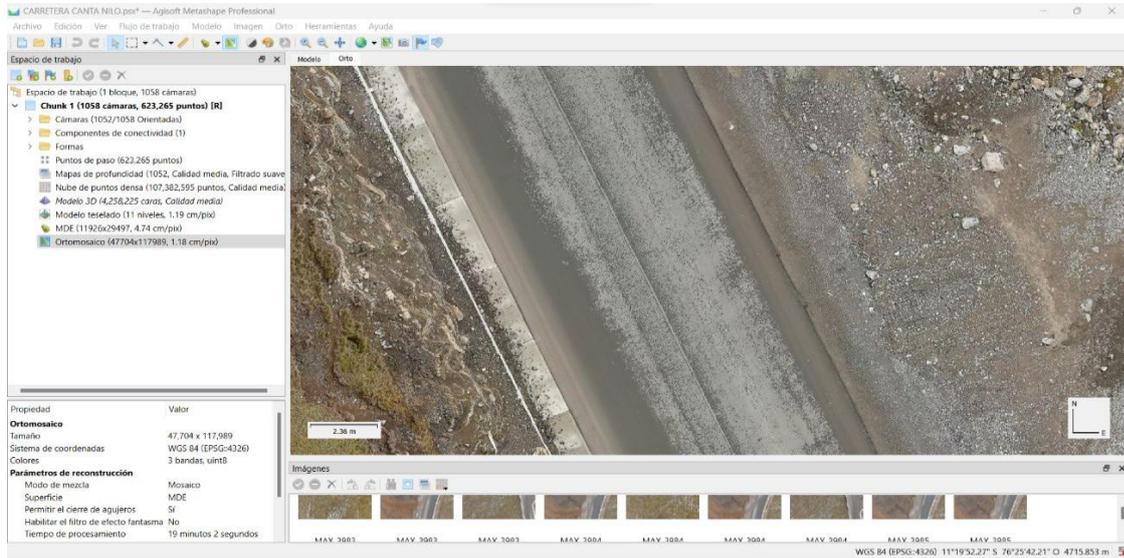


Nota. En la figura se puede observar el resultado del procesamiento ortomosaico.

Paso 11.2

Figura 61

Resultado ortomosaico.

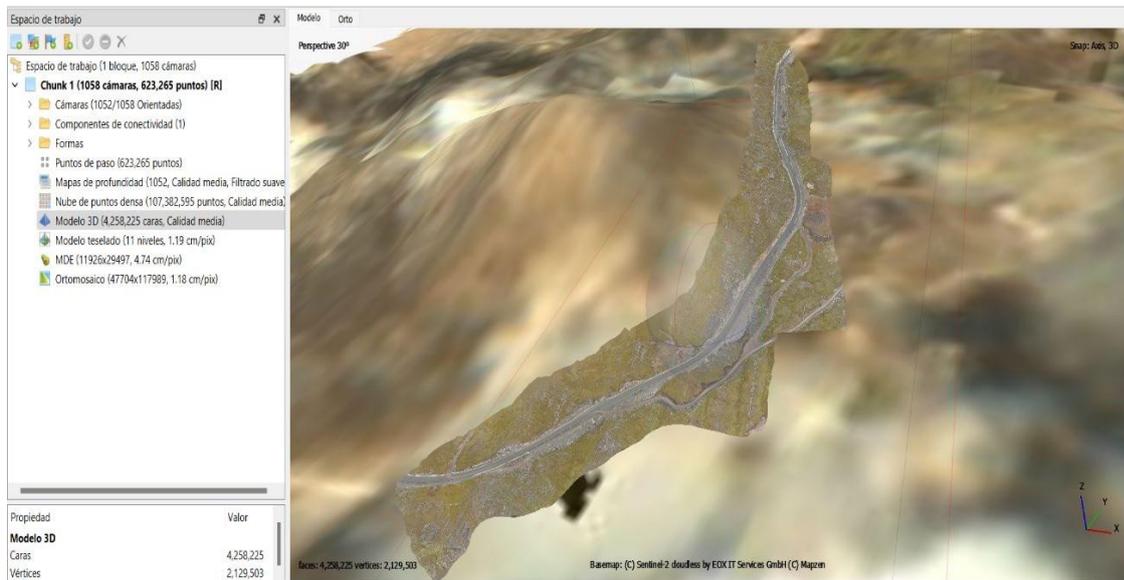


Nota. Se puede visualizar el resultado ya con más detalles de acercamiento y un análisis visual.

Paso numero 12

Figura 62

Imagen georreferenciada



Nota. En la figura se muestra el producto final de todos los procesos ya obtenidos y como resultado obtenemos el modelo en 3D. El cual se puede emplear en diferentes softwares.

Índice de calidad del pavimento usando el ortomosaico

El proyecto consiste en “Mejoramiento, Rehabilitación, Conservación por Niveles de Servicio y Operación del Corredor Vial Lima – Canta – Huayllay – Dv. Cochamarca – Empalme PE 3N Tramo: Canta – Huayllay”.

De acuerdo a Provías Nacional, se ubica en la parte central del país, en la Región Lima (Provincia de Canta), Junín (Provincia de Yauli) y Pasco (Provincia de Pasco) a una altura entre 2800 y 4680 m. s. n. m. Inicia en Lima en el Km .21 +500 de la Av. Túpac Amaru y culmina en el Emp. PE - 3 N (a la altura del Km. 109) cerca al Dv. Pasco.

El corredor vial presenta una longitud de 203.796 km, el cual consta de cuatro tramos. Para la presente investigación, se realizó el vuelo en una parte del tramo 2 Canta - Huayllay (95.2 km).

Además, Provías Nacional señala que la intervención en este tramo consiste en realizar el mejoramiento y rehabilitación del tramo a nivel de carpeta asfáltica, de dos carriles, con un ancho de calzada de 7 20 m bermas de 0 90 m, así como el mejoramiento de los sistemas de drenaje, estabilización de taludes implementación de señales verticales y horizontales, en función de las características de la carretera a fin de prevenir y salvaguardar la seguridad en la vía, entre otros trabajos, que se encuentran en el Estudio Definitivo del Saldo de Obra.

Nuestro objetivo general en esta investigación es determinar de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar la calidad de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera

la viuda, 2023. Dado que la calidad está relacionada con la satisfacción de los usuarios en las superficies de rodaduras y los elementos que conforman la seguridad vial.

Emplearemos el concepto de Present Serviceability Index (PSI) o serviciabilidad. De acuerdo con el Ministerio de transportes y Comunicaciones la define como “la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. Los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones (situación ideal).”

La aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite una apreciación visual de la condición superficial del pavimento.

Tabla 7

Escala de Índice de Serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad	Calidad
5	
4	Muy buena
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

Nota. Tomado de Guía AASHTO

Deterioros o Fallas Estructurales

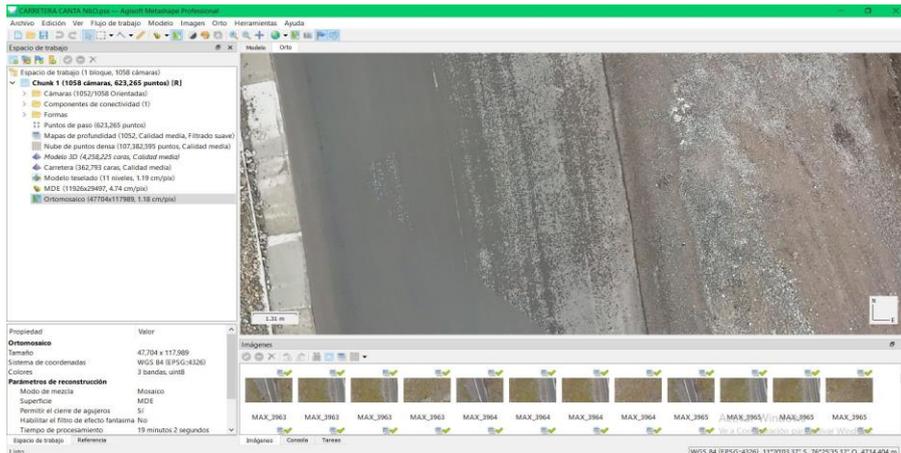
Deterioro / falla 1: Piel de cocodrilo

La piel de cocodrilo está constituida por fisuras que forman polígonos irregulares de ángulos agudos. Puede ser en su principio, poco grave, mostrando polígonos incompletos

dibujados en la superficie por fisuras cerradas (es decir, de ancho nulo). El tamaño de la malla disminuye luego bajo el efecto de las condiciones climáticas y del tráfico. Las fisuras se abren y se observan pérdidas de material en sus bordes.

Figura 63

Falla piel de cocodrilo



Nota: en la figura se muestra la falla que esta presentando el pavimento flexible.

Deterioro / falla 2: Fisuras longitudinales

En este rubro de incluyen las fisuras longitudinales de fatiga. Discontinuas y únicas al inicio, evolucionan rápidamente hacia una fisuración continua y muchas veces ramificada antes de múltiples debido al tráfico, hasta convertirse en muy cerradas.

En el análisis visual no se encontró la falla mencionada.

Deterioro / falla 3: Deformación por deficiencia estructural

Las deformaciones propias de los pavimentos flexibles se caracterizan, en casi totalidad de los casos, por lo siguiente:

1. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas o localizadas.

2. El ahuellamiento relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.

En el análisis visual en el software no hallamos este tipo de falla.

Deterioro / falla 4: Ahuellamiento

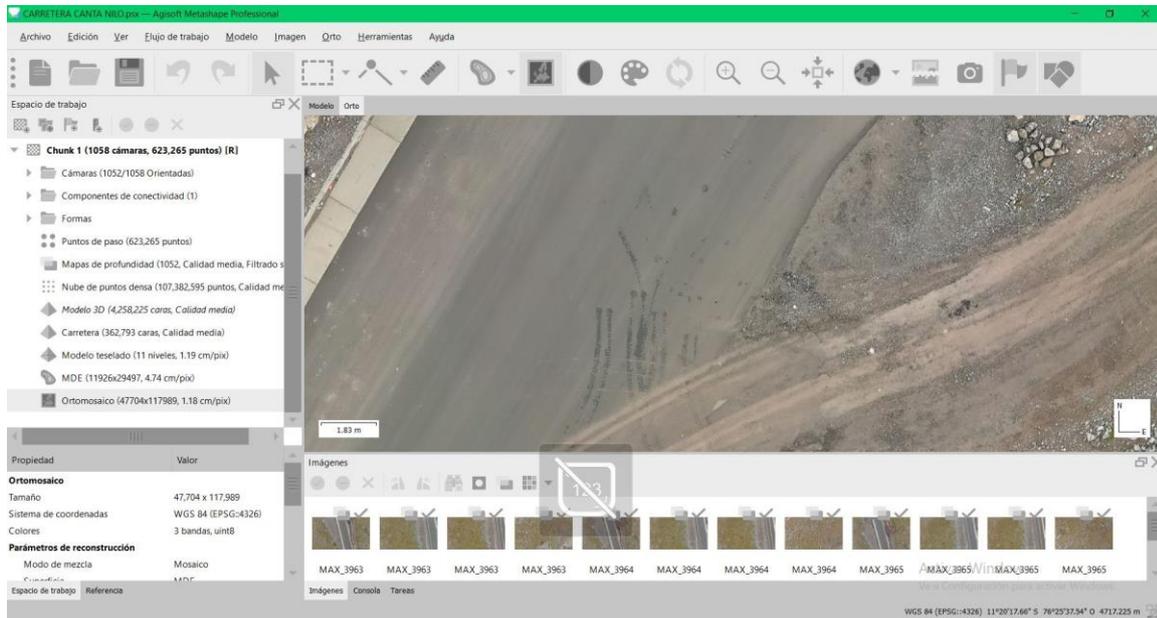
Las deformaciones propias de los pavimentos flexibles se caracterizan, en casi totalidad de los casos, por lo siguiente:

- 1) Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas o localizadas.
- 2) El ahuellamiento relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.

En todos los casos, su gravedad es anotada por la profundidad media sobre la regla rígida de 1.50 m de longitud colocada transversalmente en la calzada. El presente rubro se refiere a las deformaciones por comportamiento visco-elástico de la capa de rodadura. La huella aparece en el trazado de las ruedas, en un ancho inferior a 0.8 m, sobre los laterales del pavimento de 0.5 a 0.8 m de borde, debido a un comportamiento visco-elástico de la capa de rodadura bajo un tráfico pesado y canalizado. Como podemos ver en la Figura 63, se aprecia las huellas que emergen por el trazado de las ruedas.

Figura 64

Detección de falla por ahuellamiento



Nota. Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape Professional (2022)

Deterioro / falla 5: Reparaciones o parchado

Las reparaciones están destinadas a mitigar los defectos del pavimento, de manera provisional o definitiva: su número, su extensión y su frecuencia son elementos del diagnóstico. Una reparación reciente enmascara un problema, reparaciones frecuentes lo subrayan. Las reparaciones deben ser calificadas en el momento del examen visual, pues algunas de ellas son tomadas en cuenta para determinar el estado estructural del pavimento. Si la reparación se aplica a deterioros / fallas superficiales y erradica el defecto, no se usará para calificar el estado estructural del pavimento. Si se aplica a la fisuración estructural, se considera como factor agravante. Como podemos ver en la Figura 64, se aprecia zonas con reparaciones o parches.

Figura 65

Detección de falla por reparaciones o parchado



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape Professional (2022)

Deterioros o Fallas Superficiales

Deterioro / falla 6: Peladura y desprendimientos

Este deterioro incluye lo siguiente:

- La desintegración superficial de la carpeta asfáltica debida a la pérdida del ligante bituminoso o del agregado (peladura).
- La pérdida total o parcial de la capa de rodadura (desprendimiento).

En el análisis visual no hallamos este tipo de falla.

Deterioro / falla 7: Baches (Huecos)

Los baches o huecos son consecuencia del desgaste o de la destrucción de la capa de rodadura. Cuando aparecen, su tamaño es pequeño. Por falta de mantenimiento ellos

aumentan y reproducen en cadena, muchas veces con una distancia igual al perímetro de una rueda de camión.

No se detectó dicha falla, ya que es una vía nueva recién pavimentada.

Deterioro / falla 8: Fisuras transversales

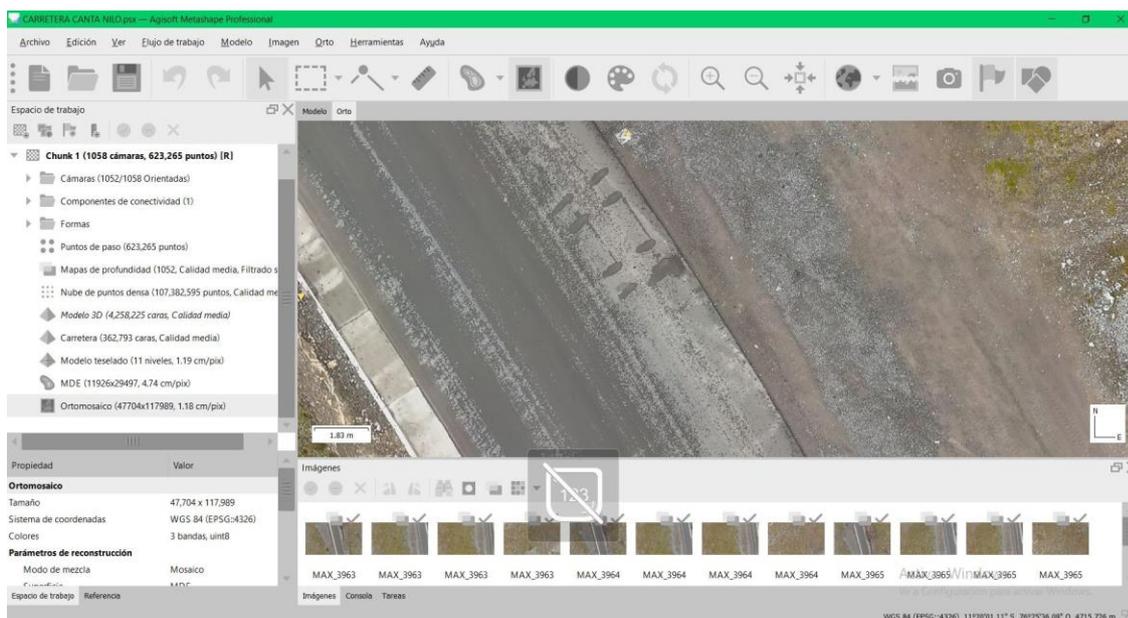
Las fisuras transversales son fracturas del pavimento, transversales al eje de la vía.

No encontramos este tipo de fallas aun en esta carretera cuando realizamos el estudio mediante la visualización de imágenes en el software Agisoft metashape.

Además, se encontró otras fallas que mencionamos a continuación:

Figura 66

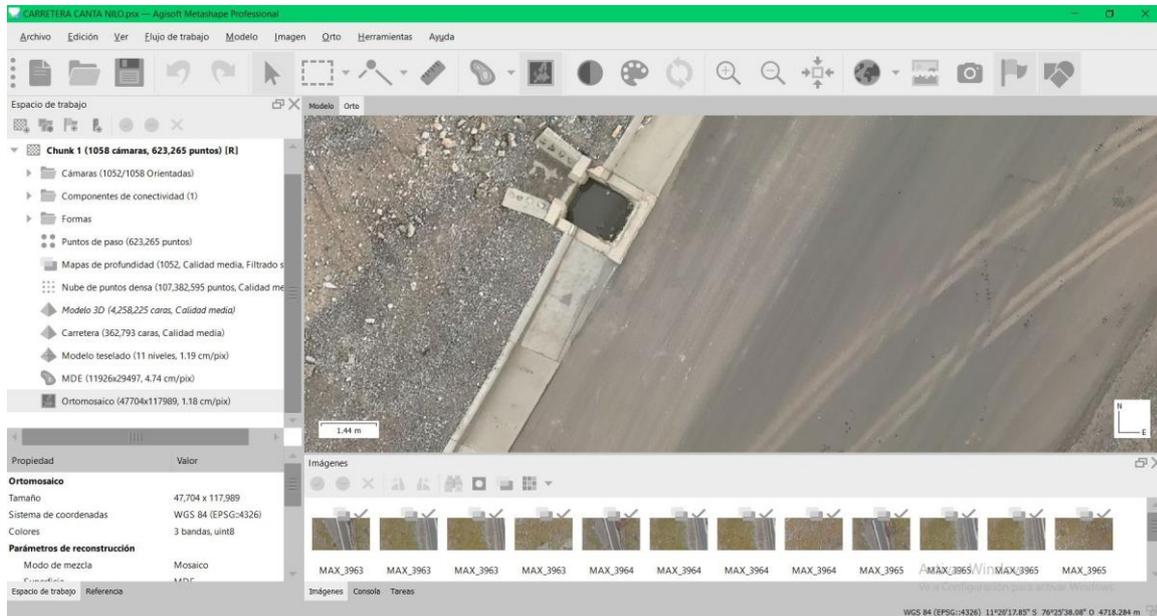
Falla hundimiento



Nota: En la figura se muestra el pavimento con un estacionamiento del agua, cuya posible falla se encuentra en el diseño. No se previó el tránsito pesado que iba a circular por la vía.

Figura 67

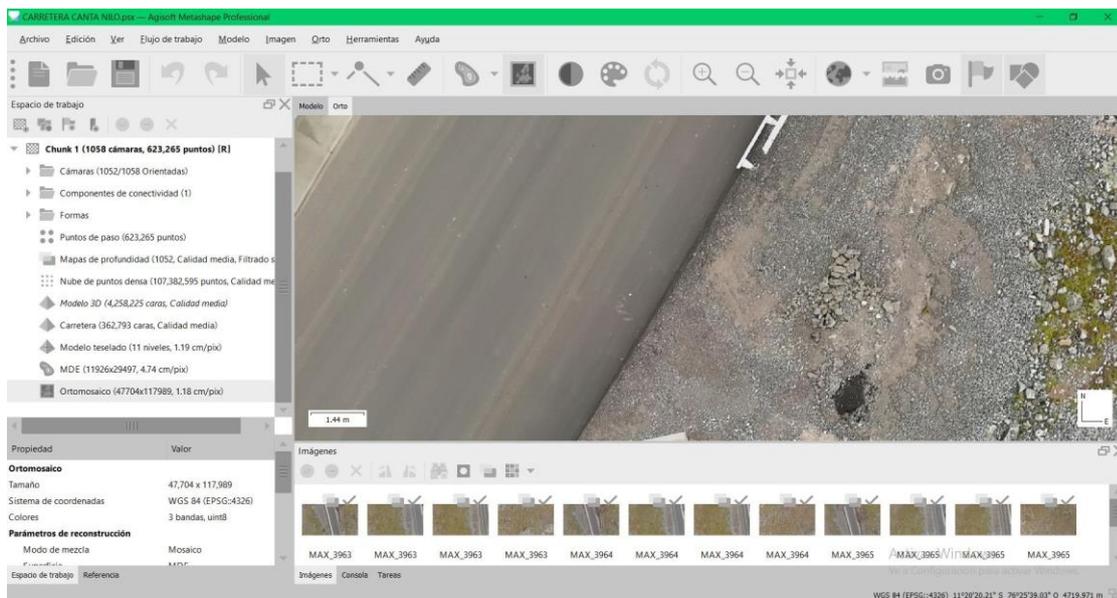
Falla superficial drenaje



Nota: se puede observar que hay estancamiento de agua en el alcantarillado.

Figura 68

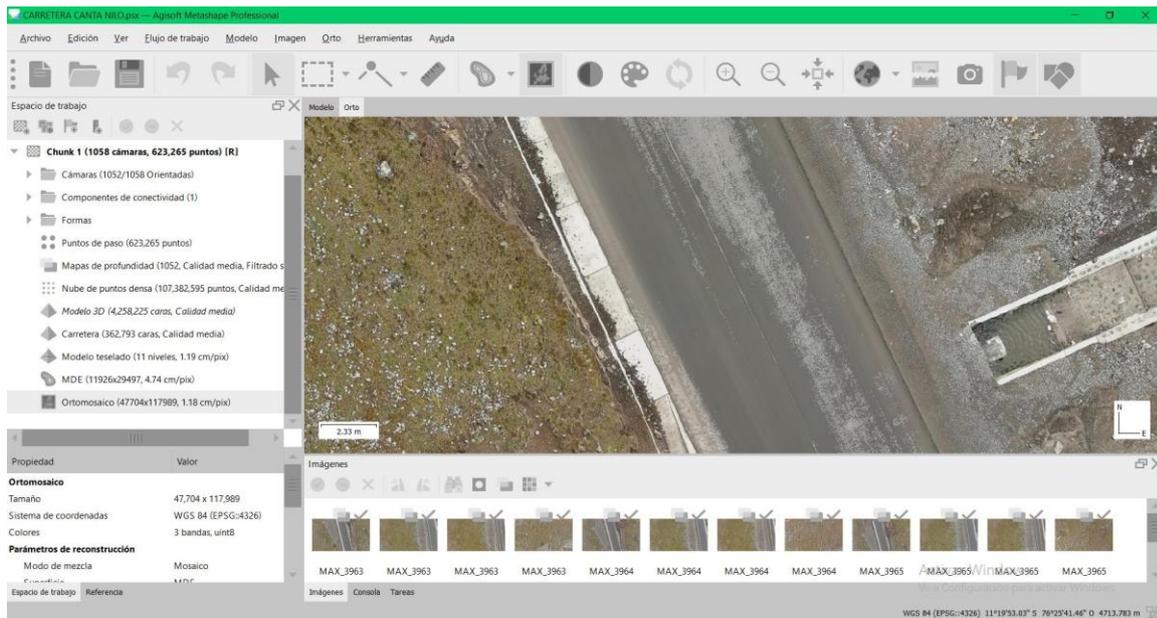
Falla ruptura de bordes.



Nota: En la figura se visualiza que se están generando rupturas y grietas. La posible falla es por falta de soporte lateral.

Figura 69

Falla lomo de corvina



Nota: En la figura se muestra la acumulación o retención del agua fluvial. Se asume que la falla sea por falta de pendiente en la vía.

Capítulo IV: Discusión y Conclusiones

Discusión

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis general que demuestra que la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar la calidad de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Assunção (2019) en el Uso de Imágenes Terrestres y Aéreas para la Identificación de Imperfecciones en el pavimento de asfalto, Souza y Lacerda (2019) en Evaluación del empleo de Quadrirrotor RPA para levantamiento de áreas de parche en pavimentos urbanos, quienes señalan que es de suma importancia el uso de la fotogrametría con RPA para preservar la calidad del pavimento en buenas condiciones y extender su vida útil. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

En lo que respecta a la relación entre la fotogrametría con RPA y la variable característica de un pavimento flexible, en este estudio, se encuentra relación. Debido a que se genera un ortomosaico de la carretera en la que se puede observar la capa de rodadura (micro pavimento). Jonas, Borges, SimõesI, Anjos, Costa (2022) y Visalot (2022) encontraron en sus respectivos estudios lo hallado en esta investigación.

En lo que concierne a la relación de la fotogrametría con RPA y las fallas de un pavimento flexible, Souza y Lacerda (2019) evalúa el potencial de un RPA para detectar defectos tipo parche en pavimentos urbanos. Esto es consistente con los resultados de este estudio.

Conclusiones

Determinar de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar la calidad de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

Dado que la calidad está relacionada con la satisfacción de los usuarios en las superficies de rodaduras y los elementos que conforman la seguridad vial. Se puede emplear el concepto de Present Serviciability Index (PSI) o serviciabilidad para calificar el pavimento.

Identificar de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar las características de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

La aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite una apreciación visual de la condición superficial del pavimento. Gracias al software de posprocesamiento Agisoft Metashape, las fotos se pueden alinear de tal manera que se crea un modelo 3D. Se apreció las obras de pavimento (Micropavimento en todo el ancho de calzada, bermas, incluyendo sobreechornos, en toda la extensión del tramo) y Obras de seguridad vial (Señalización horizontal, Tachas retrorreflectivas).

Conocer de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar las fallas de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

La aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar las fallas de un pavimento flexible, debido a que en las imágenes se identificó los tipos de fallas que presenta el pavimento. Las cuales son del tipo estructural y superficial.

Conocer de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA nos permite analizar una evaluación superficial de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta-Huayllay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la viuda, 2023.

Referencias

Andrade, A. (2018). Mejora de la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia a través de la predicción de su deterioro. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia].

https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115994/01_Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Aparicio, P. et al. (2018). Fotogrametría digital para el levantamiento 3D del sitio arqueológico de Todos Santos, Cuenca (Ecuador). *Estoa*. 7(13).

http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-92742018000100031

Acosta, G. et al. (2017). El empleo de fotogrametría mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT/dron) como herramienta de evaluación del patrimonio en riesgo: chinampas arqueológicas de Xochimilco. *Rev. Esp. Antropol. Amer.* 47, 185-197.

<https://revistas.ucm.es/index.php/REAA/article/view/61978>

- Arriola, S.; Ferencz, A. y Rimolo, R. (2018). *Fotogrametría terrestre con sistema aéreos autónomos no tripulados*. [Archivo PDF].
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9588>
- ACRE (2021). *Ala fija o multirrotor: ¿Qué dron debería elegir para la topografía aérea?*. [Página Web]. <https://grupoacre.pe/ala-fija-o-multirrotor-que-dron-deberia-elegir-para-la-topografia-aerea/>
- Autodesk Journal (2021). *¿Qué es AutoCAD Civil 3D?* [Página Web].
<https://www.autodeskjournal.com/que-es-autocad-civil-3d/>
- Burga, A. y Chávez, O. (2015). *Diseño de pavimento en la urbanización Santa María distrito de Jose Leonardo Ortiz – Chiclayo – Lambayeque*. [Tesis de titulación profesional, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/1620/Arebalo_Burga_Marrufo_y_Chavez_Villalobos_Oscar_Vadctor_Jean_Frank.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Beltrán, G. (2014). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos. *Elsevier*. 15(3), 391-402. <https://www.elsevier.es/es-revista-ingenieria-investigacion-tecnologia-104-articulo-evaluacion-pavimentos-decisiones-conservacion-con-S140577431470349X>
- Baque, B. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí. *Dominio de la ciencia*. 6(2), 203-228. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398457>

- Bermúdez, C. (2021). RPA, automatización robótica de procesos: Una Revisión de la literatura. *Rev. Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*. 8(15), 111-122.
<http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/710/533>
- Becerra, J. et al. (2019). *Implementación de tecnología robótica (RPA) en procesos logísticos. Caso de estudio: Organización de Servicios Petroleros*. [Archivo PDF].
https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/45210/183004_Becerra_Gomez_Rodriguez_Santiago.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Berrio, V. et al. (2018). Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones. *Revistas ESPACIOS*. 39(5).
<https://www.revistaespacios.com/a18v39n45/a18v39n45p18.pdf>
- Cruz, C. (2018). *Cálculo del índice de condición del pavimento con imágenes del vehículo aéreo no tripulado*. [Tesis de titulación profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/17218>
- Chuna, J. (2019). Diseño de la infraestructura vial para mejorar la transitabilidad usando el Método AASHTO 93 en la Urbanización Santa Rosa Ventanilla-Callao, 2019. [Tesis de titulación profesional, Universidad César Vallejo].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/44498/Chuna_AJCI-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cortés, E. (2021). Levantamientos topográficos mediante el uso de drones. *Rev. INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*. 8(2), 111-124.
<https://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/download/1912/2458/8767>

- Cárdenas, E.; Morales, L. y Ussa, A. (2015). La estereoscopía, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento. *Ciencia y tecnología*. 13(16), 201-219.
<http://www.scielo.org.co/pdf/recig/v13n16/v13n16a10.pdf>
- Cisneros, S. et al. (2019). Estudio de las configuraciones de puntos de control terrestre para fotogrametría con dron. *Revista GEOESPACIAL*. (2019). 16(1), 43-57.
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-geoespacial/article/download/1278/942>
- Consejería de economía y hacienda (2015). *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. [Archivo PDF]. <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/03/Los-Drones-y-sus-Aplicaciones-a-la-Ingenieria-Civil-fenercom-2015.pdf>
- CAPTURE THE ATLAS (2019). *¿Qué es la apertura de diafragma en fotografía?* [Página Web]. <https://capturetheatlas.com/es/que-es-la-apertura-de-diafragma-en-fotografia/>
- De la Cruz, S. y Paredes, G. (2021). Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima. *Memorias*. (21).
<https://doi.org/10.36561/ING.21.9>
- Deloitte (2017). *Change, Automatización Robótica de Procesos (RPA)*. [Archivo PDF].
https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/strategy/Automatizacion_Rob%C3%B3tica_Procesos.pdf
- DJI Enterprise (2022). *Learn everything you need to know about GSD and why it's important for drone surveying*. [Página Web]. <https://enterprise-insights.dji.com/blog/ground-sample-distance>

- Fernández, Y. (2018). *ISO, Apertura y Obturación: todo sobre los controles manuales básicos en fotografía*. [Página Web]. Xataka. <https://www.xataka.com/basics/iso-apertura-obturacion-todo-controles-manuales-basicos-fotografia>
- Granda, C. (2019). Evaluación de la condición del pavimento rígido por el método PCI en el anillo vial tramo Chaupimarca – Yanacancha – Pasco – 2018. [Tesis de titulación profesional, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/622/1/T026_70871624_T.pdf
- Guerra, P. y Guerra, C. (2020). Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible. *Fides et Ratio*. 20(20).
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2020000200008
- Gutiérrez, S. y Agudelo, C. (2021). Tecnología en automatización robótica de procesos junto con las buenas prácticas de seguridad de la información. *Revista CIES*. 12(2), 315-344.
<http://revista.escolme.edu.co/index.php/cies/article/view/367>
- Gómez, R. et al. (2021). Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno. *Informes de la Construcción*. 73, 561-379.
<https://doi.org/10.3989/ic.77867>
- Gonzáles, R. et al. (2019). Drones. Aplicaciones en ingeniería civil y geociencias. *Interciencia*. 44(6), 326-331. <https://www.redalyc.org/journal/339/33960068003/html/>
- Guzman, J.; Cifuentes, N. y Suarez, C. (2020). Análisis del Software Fotogramétrico Agisoft Metashape En la Solución a Problemas de Ingeniería e Infraestructura. *IDEA Construcción Y Madera*. 2(2), 26–33.
<https://revistas.sena.edu.co/index.php/idea/article/view/3056>

Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6^a ed.). McGrawHill.

Instituto Metropolitano de Planificación (2023). *Planos de Zonificación*. [Página Web]. IMP.
<https://www.imp.gob.pe/es/menu-navegacion/Zonificaci%C3%B3n/1-planos-zonificacion.html>

IT Central Estation. (2019). *¿Por qué fracasan los proyectos de RPA?* [Archivo PDF].
https://www.automationanywhere.com/sites/default/files/internal-assets/it-central-station-peerpaper-es_en.pdf

IDC (2020). *Drones Multirrotor VS Ala fija*. [Página Web].
<https://idc.apddrones.com/drones/drones-multirrotor-vs-ala-fija/>

Jiménez, S. (2020). *Fotogrametría con drones: Conceptos y análisis*. [Archivo PDF].
<https://www.riego.mx/files/webinars/webinar08.pdf>

Jiménez, S. et al. (2020). Cuantificación del error de modelos digitales de terreno derivados de imágenes adquiridas con UAV. *Ingeniería agrícola y biosistemas*. 9(2).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40262017000200085&script=sci_arttext&tlng=es

Klahr, D. (2017). Fotografía arquitectónica estereoscópica y la fenomenología de Merleau-Ponty. *ZARCH*. (9), 84–105. https://doi.org/10.26754/ojs_zarch/zarch.201792269

Moreno, M. y Castillo, D. (2018). El uso de la fotogrametría para la digitalización de documentos cartográficos de gran formato: la experiencia de la Planoteca de la Junta de Adelanto de Arica (PJAA), Chile. *Intervención*. 9(17).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-249X2018000100080

Marí, C. y Guzmán, M. (2007). Modelación de una estructura de pavimento utilizando los módulos dinámicos obtenidos en laboratorio aplicando las metodologías marshall y superpave. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 6(11), 53-63.

<https://www.redalyc.org/pdf/750/75061105.pdf>

Moyano, G. (2017). El uso de fotogrametría digital como registro complementario en arqueología. Alances de la técnica y casos de aplicación. *Comechingonia*. 21(2).

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-00272017000200014

Moreno, R. (2019). Descripción básica de RPA en la Topografía. *Universidad de Guadalajara*. 1-7. <https://colegiotopografoscr.com/appat/boletin/2019/01/rmoreno.pdf>

Núñez, J. (2017). Los métodos mixtos en la investigación en educación: hacia un uso reflexivo. *ARTIGOS*. 47(164).

<https://www.scielo.br/j/cp/a/CWZs4ZzGJj95D7fK6VCBFxy/?lang=es>

Nascimento, M. (2019). El retorno de la técnica 3D Estereosen la era digital, luego de una profund. Un lenguaje en construcción y sus aportes a la representación multidimensional. *UCES.DG*. 6(11).

<https://publicacionescientificas.uces.edu.ar/index.php/disgraf/article/download/800/729/>

Oblitas, B.; Medina, I. y Paredes, C. (2021). Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos.

IITECKNE. 18(2), 170 – 175. <http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v18n2/1692-1798-itec-18-02-170.pdf>

Organización de Aviación Civil Internacional (2011). *Sistemas de aeronaves no tripuladas*

(UAS). [Archivo PDF].

https://www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328_es.pdf

Ortiz, D. y Hernández, F. (2019). Análisis de la influencia de los puntos de control terrestre en

la exactitud posicional de ortofotomosaico generados por medio de un vuelo

fotogramétrico realizado por un vehículo aéreo no tripulado (VANT). *Revista de*

Topografía Azimut. (10).

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/view/14972/15706>

PerúConstruye (2018). *Pavimentos: soluciones flexibles y rígidas*. [Página Web].

<https://peruconstruye.net/2018/11/16/pavimentos-soluciones-flexibles-y-rigidas/>

Pérez, E. (2015). Propuesta de automatización en bodega de producto terminado en industria

manufacturera de productos de higiene personal en Costa Rica. *InterSedes: Revista de*

las Sedes Regionales. 16(34), 1-20.

<https://www.redalyc.org/pdf/666/66643073003.pdf>

Piedrahita, A. (2018). Inmersión y estereoscopia por la Barranquilla de comienzos del siglo

xx. *Cuadernos de Música, Artes Visuales y Artes Escénicas*. 13(2).

<https://www.redalyc.org/journal/2970/297055959002/html/>

Pérez, M. (2015). La regulación de aeronaves remotamente tripuladas con fines comerciales y

civiles. *Revista de Derecho Comunicaciones y Nuevas Tecnologías*. (16).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7497923>

PIX4D (2017). *¿Los drones RTK/PPK dan mejores resultados*. [Página Web].

<https://www.pix4d.com/es/blog/los-drones-rtk-ppk-le-dan-mejores-resultados-que-el-uso-de-gcp/>

PIX4D (2021). *Tamaño de pixel en el terreno (GSD)*. [Página Web].

<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/360033638951-Tama%C3%B1o-de-pixel-en-el-terreno-GSD>

PIX4D (2019). *¿Qué es la precisión en un proyecto de mapeo aéreo?* [Página Web].

<https://www.pix4d.com/es/blog/mapeo-aereo-de-precision/>

Quirós, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. (ed. Digital). Universidad de Extremadura.

https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es.mascvuex.ebooks/files/files/file/Fotogrametria_9788469713174_0.pdf

Rodríguez González, J. L. & Espejo Torres, E. D. (2020). *Cartografía con drones (VANT's)*.

Editorial UPTC. <https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/lc/upnorte/titulos/193945>

Romero, P. et al. (2014). Diseño de un pavimento flexible adicionando tereftalato de polietileno como material constitutivo junto con ligante asfáltico ac-20. *Universidad de las fuerzas armadas*. 1-8.

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/8379/AC-C-ESPE-047870.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rondón, H. y Reyes, F. (2007). Metodologías de diseño de pavimentos flexibles: tendencias, alcances y limitaciones Hugo Alexander Rondón Quintana, Fredy Alberto Reyes

Lizcano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 17 (2), 41-65.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91117204>

Ramírez, H. (2013). *Restitución fotogramétrica a partir de fotografía aérea de pequeño formato*. [Tesis de grado, CICESE].

<https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/417/1/232761.pdf>

- Roldán, M. (2019). Fotogrametría Digital terrestre de rango cercano aplicada como una herramienta de análisis en un basurero prehispánico del sitio arqueológico San Pedro, Sucre. [Tesis de titulación profesional, Universidad de Antioquia].
<https://core.ac.uk/download/pdf/289151397.pdf>
- Roman, R. et al. (2018). Integración de aeronaves pilotadas por control remoto en espacio aéreo: Diseño y desarrollo del interfaz de la estación de control en tierra. *DYNA*. 93(1).
<https://recyt.fecyt.es/index.php/DY/article/view/62558>
- Sierra, C. y 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 – Calleo 84 Sur) en la UPZ Yomasa. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia].
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/321b9569-f0af-4aa3-b650-d6209ecab32b/content>
- Santamaría, J. y Sanz, T. (2011). *Fundamentos de fotogrametría*. (1ª ed.). Universidad de la Roja.
- Stefanini Group. (2021). *Automatización Robótica de procesos (RPA): beneficios para el trabajo humano*. [Página Web].
<https://stefanini.com/es/tendencias/articulos/automatizacion-robotica-de-procesos-rpa-beneficios-para-el-trabajo-humano>
- Salgado, R. (2019). *Drones: Tecnología a control remoto*. [Página Web]. Sabermás.
<https://www.sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/150-numero-1957/301-drones-tecnologia-a-control-remoto.html>

Santamaría, J. y Sanz, T. (2011). *Fundamentos de fotogrametría*. [Archivo PDF].

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/492591.pdf>

Trimble (2023). *Trimble R12i: un nuevo nivel de productividad*. [Página Web]. [https://es-](https://es-la.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-r12i)

[la.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-r12i](https://es-la.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-r12i)

Universidad Privada del Norte. (2016). *Código de Ética del Investigador Científico UPN*.

<https://www.upn.edu.pe/sites/default/files/2020-06/codigo-etica-investigador->

[cientifico-upn.pdf](https://www.upn.edu.pe/sites/default/files/2020-06/codigo-etica-investigador-cientifico-upn.pdf)

Zamora, A. et al. (2020). Evaluación de receptores GPS de bajo costo de alta sensibilidad para trabajos geodésicos. Caso de estudio: línea base geodésica. *CIENCIA ergo-sum*. 27(1).

<https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/9026>

Zabala, M.; López, F. y Ortega, Á. (2017). Análisis e implementación de diferencial GPS en configuración simple y doble. *Maskay*. 7(1).

http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-

[67122017000100041](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-67122017000100041)

Anexos

MAtriz DE CONSISTENCIA – PROYECTO DE INVESTIGACION
 Aplicación de la fotogrametría con RPA para analizar la calidad de un pavimento flexible en la carretera Lima- Canta - Huallay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la Viuda - 2023

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS PRINCIPAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
<p>¿De qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA y permite analizar la calidad de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huallay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la Viuda, ¿2023?</p>	<p>Determinar de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA permite analizar la calidad de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huallay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la Viuda, 2023.</p>	<p>La aplicación de la fotogrametría con RPA permite analizar la calidad de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huallay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la Viuda, 2023.</p>	<p>Variable Independiente: La fotogrametría con RPA</p> <p>La fotogrametría es la técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto. (Bonneral).</p> <p>Variable Dependiente Calidad de un Pavimento Flexible</p> <p>Pavimento flexible Es una estructura compuesta de varias capas de materiales granulares y asfálticos, cuya función es transmitir los esfuerzos de las cargas del tránsito a las terracerías (calles de tierra). A causa de una superficie de rodamiento uniforme, el pavimento tiende a resistir la acción del tráfico con un cierto nivel de deformación elástica sin romperse (Semment, 2012).</p> <p>La calidad del pavimento flexible es según una metodología sistemática para asegurar el control y aseguramiento de la misma en la construcción de los pavimentos flexibles. Se debe considerar las siguientes especificaciones y normas internacionales que se utilizan en el país: - AASHTO (American Association of State Highway and Transport Officials) - ASTM (American Society for Testing and Materials) - FP (Standard Specifications for construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects). - Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos</p>	<p>Características del pavimento</p> <p>Fallas de Pavimento</p>	<p>Orientación de Fotos Nube de Puntos Densidad Malla Modelos de Tesiselas MDE (modelo digital de elevaciones) Orto mosaic Tipo de RPA Altura de Vuelo GSD Área para volar</p> <p>•Numero de Puntos de control •Precisión del equipo •Puntos de verificación •Pavimento Rígido •Pavimentos Flexibles</p> <p>•Visuales (humidamiento, Hinchamiento, ahuecamiento) •Detritivo de las juntas •Fisuras por fatiga •Pendiente transversal del pavimento</p>	<p>Tipo de investigación: Aplicada Nivel de Investigación Es descriptiva (cualitativa) – explicativa (cuantitativa)</p> <p>Diseño de investigación El diseño de la investigación corresponde a un enfoque no experimental de tipo transversal o transeccional, caracterizado por la recolección de datos en un único momento. Además, se clasifica como un estudio exploratorio, descriptivo y correlacional-causal según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Bapista Lucio (2014), la investigación no experimental se realiza sin la manipulación deliberada de variables, centrándose en la observación de los fenómenos en su ambiente natural para su posterior análisis.</p> <p>Asimismo, en la investigación no experimental no se lleva a cabo una manipulación intencional de las variables. Se trata de una investigación empírica y sistemática en la cual la variable independiente ya ha ocurrido en el entorno natural (Ato López y Benavente, 2013)</p> <p>Área de estudio Población Carretera Canta - Huallay Muestra tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la Viuda</p> <p>Instrumentos: Ficha de Observación Valoración estadística</p>
<p>¿De qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA permite detectar las fallas de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huallay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la Viuda, ¿2023?</p>	<p>Conocer de qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA permite detectar las fallas de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huallay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la Viuda, 2023.</p>	<p>La aplicación de la fotogrametría con RPA permite detectar las fallas de un pavimento flexible en la carretera Lima – Canta- Huallay, tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la Viuda, 2023.</p>	<p>La calidad del pavimento flexible es según una metodología sistemática para asegurar el control y aseguramiento de la misma en la construcción de los pavimentos flexibles. Se debe considerar las siguientes especificaciones y normas internacionales que se utilizan en el país: - AASHTO (American Association of State Highway and Transport Officials) - ASTM (American Society for Testing and Materials) - FP (Standard Specifications for construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects). - Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos</p>	<p>Superficie del pavimento</p>	<p>•Deterioro superficial del pavimento</p>	<p>Área de estudio Población Carretera Canta - Huallay Muestra tramo laguna 7 colores - fantasma cordillera la Viuda</p> <p>Instrumentos: Ficha de Observación Valoración estadística</p>

Anexo A. Especificaciones técnica del RPA Autel Evo 2 Pro

DRONE
PROFESIONAL PERÚ
AUTHORIZED BY AUTEL ROBOTICS



Autel Evo 2 Pro

Ficha Técnica

Especificaciones de la Aeronave	
Nombre del Producto	EVO II Pro
Peso de despegue	1174g (EVO II Pro)
Dimensiones	Plegado: 228*133*110 mm (largo, ancho y alto) Extendido: 424*354*110 mm (largo, ancho y alto)
Distancia diagonal	397 mm
Velocidad máxima de ascenso	Modo estándar: 5 m/s Modo ridículo: 8 m/s
Velocidad máxima de descenso	Modo estándar: 3 m/s Modo ridículo: 4 m/s
Velocidad máxima (cerca del nivel del mar, sin viento)	Modo estándar: 15 m/s Modo ridículo: 20 m/s
Techo de servicio máximo por encima del nivel del mar	7000 m
Tiempo máximo de vuelo (sin viento)	40 minutos
Tiempo máximo de desplazamiento (sin viento)	35 minutos
Distancia máxima de vuelo (sin viento)	25 km
Resistencia máxima a la velocidad del viento	Level 8
Máx Angulo de inclinación	Modo estándar: 28º Modo ridículo: 33º
Max Velocidad angular	120º/s
Rango de temperatura de funcionamiento	-10°C a 40°C
Frecuencia de Operación	2.4~2.4835GHz
Potencia de transmisión (EIRP)	2.4~2.4835GHz FCC: ≤26 dBm ISED: ≤26 dBm CE: ≤20 dBm RCM: ≤20 dBm SRRC: ≤26 dBm
GNSS	GPS/GLONASS/VIO/ATTI
Rango de precisión de desplazamiento	Vertical: A 0,02 m (cuando el posicionamiento de la visión está activo) 0,2 m (con posicionamiento GPS) Horizontal: A 0,02 m (cuando el posicionamiento de la visión está activo) 1,0 m (con posicionamiento GPS)
Almacenamiento interno	8 GB
Almacenamiento SD	Estándar: 32 GB, máx. capacidad 256GB

Especificaciones de la Cámara	
Sensor	1" CMOS Píxeles efectivos: 20 millones Temperatura de rendimiento: -10 - 60 °C
Lente	FOV: alrededor de 77° Formato equivalente de 35 mm: 28,6 mm @f/2,8 Apertura: f/2.8-f/11 Alcance de disparo: 1 m a ∞
Rango ISO	Video: ISO100-3200 (Automático) Video: ISO100-3200 (Manual) Foto: ISO100-3200 (Automático) Foto: ISO100-3200 (Manual)
Velocidad del obturador	Obturador electrónico: 8 x 1/8000s
Digital Zoom	1 x 8x (zoom máximo 3x sin pérdidas)
Resolución de Imágenes fijas	5472*3648 (3:2) 5472*3076 (16:9) 3840*2160 (16:9)
Formato de imagen fija	JPEG / DNG / JPEG+DNG
Formato de imagen fija	Un solo disparo Disparo de ráfaga: 3/5 fotogramas Soporte de exposición automática (AEB): 3/5 marcos entre corchetes a 0,7 EV Bias Lapso de tiempo: JPG: 2s/5s/7s/10s/20s/30s/60s DNG: 5s/7s/10s/20s/30s/60s HyperLight: soporte (bajo formato JPEG 4K) Larga exposición: Máx. 8s Imágenes HDR: soporte (bajo formato JPEG 4K)
Resolución de vídeo	5472*3076 p30/p25/p24 3840*2160 p60/p50/p48/p30/p25/p24 2720*1528 p120/p60/p50/p48/p30/p25/p24 1920*1080 p120/p60/p50/p48/p30/p25/p24
Formato de vídeo	MOV / MP4
Codecs	H.264 / H.265
Velocidad de reproducción	120Mbps
Grabación de vídeo HDR	soporte 3840 * 2160, 2720 * 1528, 1920 * 1080 grabación de vídeo HDR
Captura de PIV	soporte
Grabación de hipervalor	soporte (próximamente)
Modo AE	Automático / Manual / Prioridad del obturador / Prioridad IRIS
Medición AE	Centro ponderado / Punto
Compensación EV	±3EV 0.3EV/step
Modo AWB	Auto / Manual (Soleado / Nublado / Incandescente / Neón / Personalizado)
Modo AF	Auto / Manual
Rango AF	1m a infinito
Enfoque de asistencia	soporte en modo MF
Toque AE/AF	soporte
Bloqueo AE/AF	soporte
Modo Color	Ninguno / Negro & Blanco / Nostálgico / Registro (10 bits)
Estilo de imagen	Estándar / Neutral / Paisaje / Personalizado

Especificaciones del Sistema de Detección	
Sistema de detección	Detección de obstáculos omnidireccional
Adelante	Rango de medición de precisión: 0,5 - 20 m Alcance detectable: 0,5 - 40 m Velocidad de detección efectiva: <15m/s FOV: Horizontal: 60°, Vertical: 80°
Atras	Rango de medición de precisión: 0,5 - 16 m Alcance detectable: 0,5 - 32 m Velocidad de detección efectiva: <12m/s FOV: Horizontal: 60°, Vertical: 80°
Arriba	Rango de medición de precisión: 0,5 - 12 m Alcance detectable: 0,5 - 24 m Velocidad de detección efectiva: <6m/s FOV: Horizontal: 60°, Vertical: 50°
Abajo	Rango de medición de precisión: 0,5 - 11 m Alcance detectable: 0,5 - 22 m Velocidad de detección efectiva: <6m/s FOV: Horizontal: 90°, Vertical: 70°
Lados	Rango de medición de precisión: 0,5 - 12 m Alcance detectable: 0,5 - 24 m Velocidad de detección efectiva: <10m/s FOV: Horizontal: 60°, Vertical: 50°
Entorno Operativo	Adelante, Atrás, Arriba y Lados: Superficie con patrón claro e iluminación adecuada (lux > 20) Hacia abajo: Superficie con patrón claro e iluminación adecuada (lux > 20) efecta superficies reflectantes difusas (>20%) (paredes, árboles, personas, etc.)
Especificaciones del Gimbal	
Peso	70g (EVO II) 107g (EVO II Pro) 100g (EVO II Dual 320) 135g (EVO II Dual 640)
Alcance mecánico	Paso: -135°-45°, Rollo: -45°-45°, Desvío: ±100°
Rango	Paso: -90 ~ 0°, Rollo: /, Apertura: -90 ~ 90°
Estabilización	3-axis (paso, rollo, apertura)
Velocidad máxima de control (Inclinación)	200°/s
Rango de vibración angular	±0.003° @ 10m/s ±0.008° @ 15m/s ±0.013° @ 20m/s

Especificaciones de la Batería de la Aeronave	
Capacidad	7100 mAh
Voltaje	11.55 V
Máx Voltaje de Carga	13.2 V
Tipo de Batería	LIPO 3S
Energía	82 Wh
Peso Neto	365 g
Rango de temperatura de carga	5°C to 40°C
Potencia máxima de carga	82 W
Especificaciones de Control Remoto	
Frecuencia de funcionamiento	2.4-2.4835Ghz
Distancia máxima de transmisión (sin obstrucciones, sin interferencias)	FCC: 9km CE: 5km
Rango de temperatura de funcionamiento	-10°C - 40°C
Potencia de transmisión (EIRP)	2.4-2.4835GHz FCC: ≤26 dBm ISED: ≤26 dBm CE: ≤20 dBm RCM: ≤20 dBm SRR: ≤20 dBm
Batería	5000 mAh
Peso	370g
Corriente de funcionamiento/Voltaje	1.7A@3.7V
Rango de temperatura de carga	0 - 40°C
Tamaño de dispositivo móvil compatible	Max length: no limit; Max width: 84mm; Max thickness: 13mm;
Tipos de puertos USB compatibles	Lightning, Micro USB (Type-B), USB-C
Horario de funcionamiento	3 H

Especificaciones del Cargador	
Entrada	100-240 V, 50/60 Hz, 1.5A
Salida	Main: 13.2 V – 5 A USB: 5V–3A 9V–2A 12V–1.5A
Voltaje	13.2 ± 0.1 V
Potencia Nominal	66 W

Especificaciones de la APP	
Sistema de transmisión de video	USB Transmission
Nombre	Autel Explorer
Calidad de visualización en vivo	Control Remoto: 720p@30fps Autel Explorer: 1080p@30fps
Latencia (dependiendo de condiciones ambientales y dispositivo móvil)	120 - 130 ms
Sistema operativo	IOS Android
Velocidad de bits máxima de visualización en vivo	40Mbps

Anexo B. Informe de procesamiento

Nilo

Informe de procesamiento

13 May 2023



Datos del levantamiento

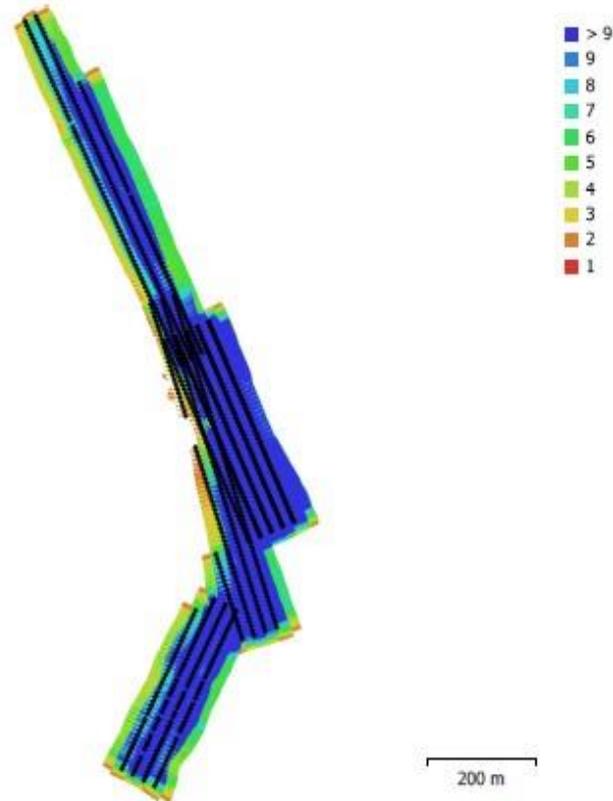


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	1,058	Imágenes alineadas:	1,052
Altitud media de vuelo:	51.4 m	Puntos de paso:	623,265
Resolución en terreno:	1.19 cm/pix	Proyecciones:	3,589,173
Área cubierta:	0.198 km ²	Error de reproyección:	0.966 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
XT705 (10.57mm)	5472 x 3076	10.57 mm	2.4 x 2.4 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

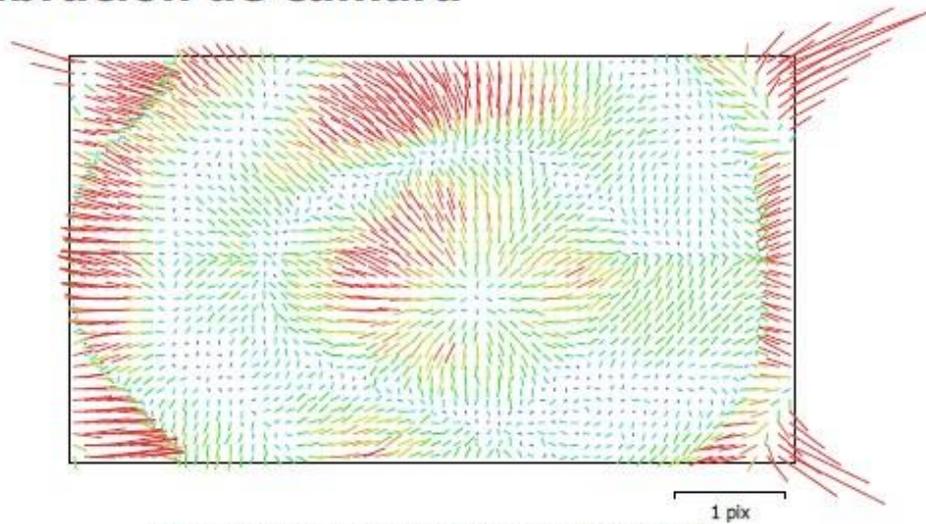


Fig. 2. Gráfico de residuales para XT705 (10.57mm).

XT705 (10.57mm)

1058 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	5472 x 3076	10.57 mm	2.4 x 2.4 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4349.84	0.48	1.00	0.64	0.85	0.54	-0.67	0.78	-0.02	0.29
Cx	-20.507	0.026		1.00	0.54	0.36	-0.45	0.52	0.63	0.19
Cy	45.0909	0.025			1.00	0.46	-0.56	0.65	-0.02	0.63
K1	0.0781341	3.6e-05				1.00	-0.90	0.85	0.07	0.26
K2	-0.244273	0.00016					1.00	-0.98	-0.01	-0.20
K3	0.298742	0.00025						1.00	0.00	0.23
P1	-0.00123796	1.8e-06							1.00	0.04
P2	0.0021003	1.3e-06								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

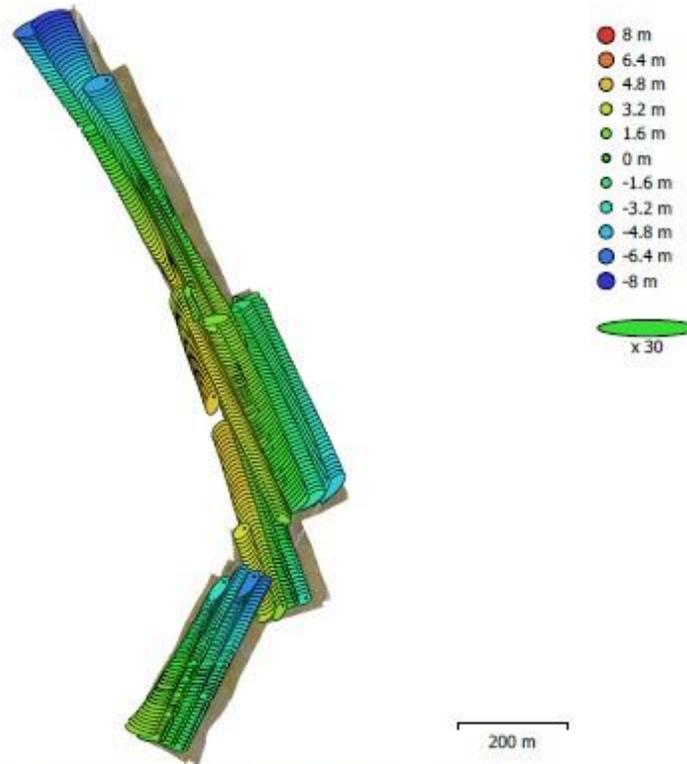


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.

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)
0.762844	0.583787	2.52945	0.960593	2.7057

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

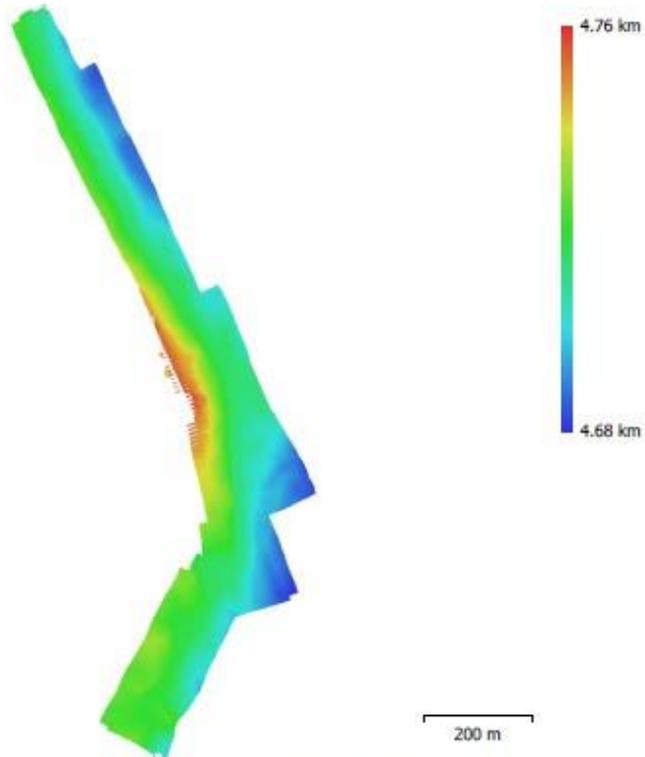


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 4.74 cm/pix
Densidad de puntos: 445 puntos/m²

Tamaño de archivo	1.37 GB
Modelo	
Caras	4,258,225
Vértices	2,129,503
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Textura	8,192 x 8,192, 4 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Media
Nivel de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	1 hora 18 minutos
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Arbitrario
Origen de datos	Mapas de profundidad
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	35 minutos 35 segundos
Uso de memoria	8.60 GB
Parámetros de texturizado	
Modo de mapeado	Genérico
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	8,192
Habilitar el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	Sí
Tiempo de mapeado en UV	1 minuto 5 segundos
uso de memoria para mapa UV	3.05 GB
Tiempo de mezcla	14 minutos 33 segundos
Uso de memoria durante la mezcla	5.72 GB
Uso de memoria vídeo durante la mezcla	2.18 GB
Fecha de creación	2023:05:10 04:44:19
Versión del programa	1.8.5.15259
Tamaño de archivo	270.49 MB
Modelo de teselas	
Textura	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Media
Nivel de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	1 hora 18 minutos
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos densa
Tamaño de tesela	256
Número de caras	Media
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	1 hora 14 minutos
Uso de memoria	10.42 GB
Fecha de creación	2023:05:10 06:24:12
Versión del programa	1.8.5.15259
Tamaño de archivo	1.62 GB
MDE	
Tamaño	11,926 x 29,497
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	1 minuto 12 segundos

Uso de memoria	312.24 MB
Fecha de creación	2023:05:10 16:16:10
Versión del programa	1.8.5.15259
Tamaño de archivo	271.41 MB
Ortomosaico	
Tamaño	47,704 x 117,989
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	19 minutos 2 segundos
Uso de memoria	1.76 GB
Fecha de creación	2023:05:10 16:30:26
Versión del programa	1.8.5.15259
Tamaño de archivo	23.10 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	1.8.5 build 15259
OS	Windows 64 bit
RAM	15.26 GB
CPU	AMD Ryzen 7 6800H with Radeon Graphics
GPU(s)	AMD Radeon(TM) Graphics (gfx1035) NVIDIA GeForce RTX 3050 Laptop GPU

Anexo C. Exportación de puntos a formato a Auto Cad (DXF)

