

FACULTAD DE INGENIERÍA
Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“ANÁLISIS DE UN LEVANTAMIENTO
FOTOGRAMÉTRICO FRENTE A UN
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ENTRE LOS
KILÓMETROS 96 Y 98 DEL TRAMO PE-08B DE
LA RED VIAL NACIONAL CAJAMARCA -
CELENDÍN”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Jorge Sixto Marin Escalante
Jose Wilson Vilela Cabada

Asesor:

Ing. Tulio Edgar Guillén Sheen
<https://orcid.org/0000-0001-5024-7595>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Erlyn Giordany Salazar Huamán	71106769
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Carlos Calua Carrasco	71573678
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Kely Nuñez Vasquez	42679441
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD



Document Information

Analyzed document	Tesis-MarinEscalante_y_VilelaCabada-01.docx (D155962305)
Submitted	1/16/2023 1:41:00 AM
Submitted by	
Submitter email	tulio.guillen@upn.pe
Similarity	0%
Analysis address	tulio.guillen.delnor@analysis.urkund.com

Sources included in the report

Entire Document

FACULTAD DE INGENIERÍA Carrera de Ingeniería Civil
“ANÁLISIS DE UN LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO FRENTE A UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ENTRE LOS KILÓMETROS 96 Y 98 DEL TRAMO PE-08B DE LA RED VIAL NACIONAL CAJAMARCA - CELENDÍN”
Trabajo de investigación para optar al título profesional de: Ingeniería Civil
Autores: Jorge Sixto Marín Escalante José Wilson Vilela Cabada
Asesor: Ing.
Tulio Edgar Guillén Sheen 0000-0001-5024-7595 Cajamarca - Perú
2022
2023
JURADO EVALUADOR
Jurado 1 Presidente(a)
Nombre y Apellidos N° DNI
Jurado 2
Nombre y Apellidos N° DNI
Jurado 3
Nombre y Apellidos N° DNI
DEDICATORIA
Dedicamos este trabajo en primer lugar a Dios, por permitirnos llegar hasta estas instancias en donde estamos cumpliendo una de nuestros metas más preciadas e importantes de nuestra formación personal y profesional. A nuestra familia, que nos brindó el apoyo incondicional, en especial en los momentos más críticos, de lo contrario no habríamos podido lograr este gigantesco paso. A nuestros compañeros de trabajo, los cuales fueron el respaldo que nos mantuvo en la lucha constante, para la realización de este informe.
AGRADECIMIENTO
Agradecemos en primer lugar a Dios, por habernos dado la tenacidad y la fuerza para emprender este difícil y a la vez fascinante camino de superación, y darnos la capacidad de mejora y superación constante a lo largo de nuestra existencia. A nuestros docentes de la Universidad Privada del Norte, ya que ellos fueron las personas que nos brindaron sus conocimientos y alimentaron en nosotros ese incommensurable amor hacia nuestra carrera profesional. Con un reconocimiento especial al Ing. Tulio Edgar Guillen Sheen, asesor de nuestro proyecto de investigación. A nuestros familiares, en especial a la señora LUZ DEL CARMEN ESCALANTE DIAZ, por su apoyo incondicional y constante propio de la mejor madre del mundo, y que desde el cielo guía nuestro camino. A nuestros amigos, que siempre estuvieron involucrados como un integrante más en todo este proceso. Sin ellos no habría sido posible la realización de este trabajo de investigación.
TABLA DE CONTENIDO
JURADO EVALUADOR 2

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo en primer lugar a Dios, por permitirnos llegar hasta estas instancias en donde estamos cumpliendo una de nuestros metas más preciadas e importantes de nuestra formación personal y profesional.

A nuestra familia, que nos brindó el apoyo incondicional, en especial en los momentos más críticos, de lo contrario no habríamos podido lograr este gigantesco paso.

A nuestros compañeros de trabajo, los cuales fueron el respaldo que nos mantuvo en la lucha constante, para la realización de este informe.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, por habernos dado la tenacidad y la fuerza para emprender este difícil y a la vez fascinante camino de superación, y darnos la capacidad de mejora y superación constante a lo largo de nuestra existencia.

A nuestros docentes de la Universidad Privada del Norte, ya que ellos fueron las personas que nos brindaron sus conocimientos y alimentaron en nosotros ese inconmensurable amor hacia nuestra carrera profesional. Con un reconocimiento especial al Ing. Tulio Edgar Guillen Sheen, asesor de nuestro proyecto de investigación.

A nuestros familiares, en especial a la señora **LUZ DEL CARMEN ESCALANTE DIAZ**, por su apoyo incondicional y constante propio de la mejor madre del mundo, y que desde el cielo guía nuestro camino. A nuestros amigos, que siempre estuvieron involucrados como un integrante más en todo este proceso. Sin ellos no habría sido posible la realización de este trabajo de investigación.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	20
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	46
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	60
DISCUSIÓN	60
CONCLUSIONES	63
REFERENCIAS	65
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Especificaciones técnicas de la Estación Total.</i>	23
Tabla 2: <i>Check list para el funcionamiento del Dron.</i>	28
Tabla 3: <i>Cuadro de puntos de control (BM's).</i>	31
Tabla 3 : <i>Cuadro comparativo en donde se aprecia la diferencia de costos entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico, en donde el costo de levantamiento topográfico es 3.25 veces mas que el del levantamiento fotogramétrico.</i>	47
Tabla 4 : <i>Cronograma para el levantamiento topográfico en días calendarios, en donde se evidencia el tiempo total que se ha tomado en recolectar los datos en campo y el procesamiento de los mismos en gabinete.</i>	49
Tabla 5 : <i>Cronograma para el levantamiento fotogramétrico en días calendarios, en donde se evidencia el tiempo total que se ha tomado en recolectar los datos en campo y el procesamiento de los mismos en gabinete. Comparando resultados obtenidos en la tabla anterior, se puede deducir que en términos de tiempo, el levantamiento fotogramétrico es 25% mas rápido.</i>	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Clasificación de UAVs por el tipo de aeronave y despegue del equipo	16
Figura N° 2: Diagrama de Flujo Phantom 4 PRO.	22
Figura N° 3: Punto de control (BM N° 07)	¡Error! Marcador no definido.
Figura N° 4: Punta BM 4.	25
Figura N° 5: Monumentación de los puntos de control con esmalte sintético de color celeste, los que a su vez servirán como dianas para el levantamiento fotogramétrico.	26
Figura N° 10: Mapas de imágenes satelitales	26
Figura N° 11: Datos del Dron	27
Figura N° 12: Detalles de Misión de Vuelo	27
Figura N° 9: Monumentación de los puntos de control con esmalte sintético de color celeste, los que a su vez servirán como Dianas para el levantamiento fotogramétrico.	29
Figura N° 10: Punto de control (BM- 06)	30
Figura N° 11: Radiación de puntos en todo el tramo de la vía en estudio (Km 96+000 – Km 98+000).	30
Figura N° 12 : Puntos del levantamiento topográfico subidos al software Civil 3D 2019 para procesamiento de datos.	32
Figura N° 13 : Creación de polilíneas 3D que unen los puntos con la misma descripción.	33
Figura N° 14 : Creada la superficie se procedió a crear el alineamiento, en el mismo que se utilizó para crear las secciones transversales y el perfil longitudinal.	34
Figura N° 15 : Secciones transversales creadas a cada 20m de longitud a partir del alineamiento.	34
Figura N° 16 : Perfil longitudinal del eje de la vía	35
Figura N° 17: Interfaz del programa Agisoft Metashape Professional.	35
Figura N° 18: Paso 1 en el procesamiento de las fotografías.	36
Figura N° 19: Segundo paso en el procesamiento de las fotografías.	36

Figura N ° 20: Tercer paso en el procesamiento de las fotografías.	37
Figura N ° 21: Cuarto paso en el procesamiento de las fotografías.	37
Figura N ° 22: Creación de nube de puntos dispersa y número total de puntos creados (941,026 puntos).	38
Figura N ° 23 : Quinto paso en el procesamiento de las fotografías.	39
Figura N ° 24 : Sexto paso en el procesamiento de las fotografías, opciones para la creación de la nube de puntos densa.	40
Figura N ° 25: Creación de nube de puntos y número total de puntos creados (8,166,647 puntos).	41
Figura N ° 26: Clasificación de puntos, por tipo	41
Figura N ° 27: Nube de puntos densa con puntos clasificados por tipo.	42
Figura N ° 28: MDE con curvas de nivel	42
Figura N ° 29: Exportación de puntos clasificados de nube de puntos densa.	43
Figura N ° 30 : Informe de procesamiento.	44
Figura N ° 31: Creación de superficies en el software Civil 3D, se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Topográfico, y de color plomo la superficie del levantamiento Fotogramétrico.	52
Figura N ° 32: Creación de alineamiento en el software Civil 3D, se aprecia de color verde el alineamiento a lo largo del eje de la vía.	53
Figura N ° 33: Creación de perfil longitudinal en el software Civil 3D, en el cual se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.	54
Figura N ° 34 : Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.	55
Figura N ° 35: Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.	56

- Figura N° 36:** Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico. _____ 56
- Figura N° 37:** Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico. _____ 57
- Figura N° 38:** Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico. _____ 57
- Figura N° 39:** Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico. _____ 58
- Figura N° 40:** Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico. _____ 58
- Figura N° 41:** Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico. _____ 59
- Figura N° 42:** Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico. _____ 59

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo principal analizar, desarrollar y comparar un levantamiento fotogramétrico frente a un levantamiento topográfico entre los kilómetros 96 y 98 del tramo PE-08B de la red vial nacional Cajamarca – Celendín, ubicado a una altura promedio de 2770 m.s.n.m., para dichos levantamientos se hizo uso de equipos específicos tales como un Dron DJI PHANTOM 4 PRO y una Estación Total TOPCON OS-105.

Este trabajo se realizó mediante recolección de datos por el método de medición directo en ambos casos, los cuales posteriormente fueron procesados en el software Agisoft Metashape, en donde se obtuvo ortofotos, nube de puntos densa, modelo digital de elevación y posteriormente curvas de nivel. Las que a su vez fueron procesadas en el programa CIVIL 3D, obteniendo así los datos para realizar las comparaciones respectivas.

El trabajo de investigación fue de tipo cuantitativa, aplicada, cuasi experimental y de corte transversal, porque esta referida a un espacio y tiempo específicos, se centra en el estudio y análisis de diversos procedimientos basados en la medición con un objetivo en concreto.

Finalmente, luego de analizar los resultados obtenidos se ha podido concluir que el levantamiento fotogramétrico con el Dron DJI PHANTHOM 4 PRO, en cuanto a costo es 3.26 veces más barato que el levantamiento topográfico con Estación Total; y en cuanto a tiempo de trabajo es un 25% más rápido, sin embargo, el levantamiento con este Dron carece de precisión en cuanto a la elevación de los puntos.

PALABRAS CLAVES: Topografía, fotogrametría, Dron, UAV.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Realidad problemática

Actualmente el avance de la tecnología está incrementando de manera exponencial, la cual a su vez facilita en gran medida las actividades en general. (Ayala Valdivia, 2018) menciona “Dichos avances se vienen mostrando en diferentes áreas profesionales como la ingeniería, transporte, medicina, economía, ayudando en gran medida en los campos del diseño, investigación, control, manejo, seguimiento e innovación de estas áreas”, por lo que se podría decir que el uso de la tecnología es necesario para facilitar la vida diaria y obtener nuevos conocimientos.

En el caso de la ingeniería, se han dejado notar muchas nuevas tecnologías en cuanto a estudios, diseño y procesos constructivos. Tal es el caso de los avances respecto a la topografía, fotogrametría, geodesia, cartografía, entre otras, que con la creación de nuevas tecnologías como la de los Drones ha mostrado una ayuda excepcional al momento de ejecutar dichos modelamientos, que facilitan la ejecución del diseño y la formulación de los proyectos de infraestructura civil (Ayala Valdivia, 2018), estos vehículos no tripulados cuentan con diferentes tipos de tecnología, diseños, tamaños, alcances y precios.

(Jiménez Calero, Magaña Monge, & Soriano Melgar, 2019), en su tesis denominada: “Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con Estación Total como método directo y el uso de Drones y GPS como métodos indirectos”, tuvo como objetivo realizar un análisis comparativo de tiempo, costo y variaciones verticales y horizontales entre los levantamientos topográficos con método directo y métodos indirectos, realizó levantamientos topográficos con Estación Total, dron y GPS en dos planteles de Sherwin Williams ubicados en el municipio de Llopanga, San Salvador, encontrando como resultado:

que el método directo es menos eficiente, debido a la alta demanda de costo, mano de obra y tiempo, además de presentar poca accesibilidad al área de estudio, el método indirecto como la fotogrametría permite obtener datos del terreno en un lapso de tiempo menor y permitiendo obtener resultados confiables.

(Sedano Mateo & Pari Rendon, 2019), en su trabajo de investigación académica denominada: “Ventajas en los levantamientos topográficos con el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV)”, tuvo por objetivo determinar los procedimientos para un levantamiento topográfico y procesamiento hasta llegar a la obtención de mapas y modelos digitales del terreno, realizó fotogrametría aérea utilizando un vehículo aéreo no tripulado, encontrando como resultado: que el uso de vehículos aéreos no tripulados tiene un costo final de 60% menos que con topografía convencional y los resultados presentan casi la misma precisión. Estas investigaciones dan a conocer las ventajas de costo, tiempo y confiabilidad de los datos obtenidos con Drones (vehículos aéreos no tripulados) y GPS como métodos indirectos frente a los métodos directos con Estación Total, dando una idea general de la aplicación de los Drones en los levantamientos topográficos y la precisión de los datos obtenidos.

(Tacca Qquelca, 2015), en su tesis denominada: “Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con Drones al método tradicional”, tuvo por objetivo determinar la precisión, rentabilidad y tiempo a través de tomas aerofotográficas y Estación Total, de los datos obtenidos tanto en campo como en gabinete, en la costanera Callao – Lima, realizó la recolección de datos con una Estación Total LEICA TS 02 y un dron PHANTOM 2 VISION en zonas de corte y relleno con el fin de poder aplicar el método en trabajos similares de edificación o construcción vial, encontrando como resultado: que los datos obtenidos con ambos equipos son muy similares, en referencia al

costo el dron Phantom 2 Vision tiene mayor versatilidad con un 95% de confianza, el tiempo y personal que requiere es menor en comparación al método clásico.

(**Sánchez Vargas, , 2017**), es su tesis denominada: “Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento topográfico con dron en la Plaza San Luis – 2017”, tuvo por objetivo determinar la precisión, exactitud y confiabilidad de un levantamiento topográfico con dron, realizó un análisis cuantitativo de la precisión y exactitud para determinar su confiabilidad, encontrando como resultado: que de acuerdo a la fórmula de precisión los datos superan el valor de $1/20000$ indicando que tienen una buena precisión, las diferencias entre los datos obtenidos de la Estación Total con respecto al promedio de los valores obtenidos de los 3 vuelos, no supera los 5 mm de diferencia, por lo cual se considera que tiene una buena exactitud por lo tanto se concluye que el levantamiento topográfico con Dron es confiable. Ambas investigaciones mencionan la ventaja de tiempo, costo, la similitud y confiabilidad que presentan los métodos indirectos en el levantamiento topográfico, indicando que el levantamiento topográfico con Drones cada vez toma mayor importancia en el desarrollo de proyectos de obras civiles.

(**Parra Lavado, 2019**) en su tesis para obtener el grado académico de maestro en ingeniería civil denominada: “Modelo analítico de los parámetros para la fotogrametría con Drones en obras viales”, tuvo por objetivo determinar el modelo analítico de los parámetros conociendo la altimetría, con la fotogrametría con Drones en obras viales, realizó la captura de fotografías a diferentes alturas, medición directa de los desniveles del terreno de la vía, medición indirecta para la obtención de coordenadas planas calculadas por los propios instrumentos, encontrando como resultado: que el cálculo de la altimetría permite determinar el modelo analítico de los parámetros para la fotogrametría con Drones en obras viales, tomando en consideración que los parámetros importantes como el vuelo sobre el terreno, la

altura de vuelo, la línea de vuelo, la velocidad de vuelo, el tipo de enfoque y el traslape entre fotografías.

En base a lo mencionado se plantea evaluar las ventajas y desventajas que presentan estos nuevos equipos con respecto a costo, tiempo y precisión. De ahí nace la necesidad de realizar una comparativa entre los levantamientos topográficos convencionales frente a levantamientos fotogramétricos con Drones. Para ello se realizaron levantamientos con Estación Total y Dron, entre los kilómetros 96 y 98 del tramo PE-08B de la Red Vial Nacional en el distrito de José Gálvez, provincia de Celendín, la cual es una vía muy concurrida hacia la ciudad de Cajamarca, cuyas coordenadas de inicio son: E: 814,801 m, N: 9,236,620 m, Elev.: 2792 m; y de fin: E: 814 984 m, N: 9,237,438 m, Elev.: 2,759 m.

Para entender los términos utilizados en esta investigación vamos a describir las definiciones básicas:

- **DRON:** Es un vehículo aéreo no tripulado (UAV), Agüera et al. (2018) menciona “Los UAV ofrecen resultados con una resolución y precisión que actualmente no pueden ser satisfechos por los satélites” (p.25).

(Parra Lavado, 2019) para el uso y manejo del dron: El dron es una aeronave no tripulada que es manejado mediante control remoto, en el pasado el uso del vehículo aéreo no tripulado (UAV, termino obsoleto), era exclusivamente de uso militar, en la actualidad el uso se ha expandido a usos profesionales y de ocio. Tomando en consideración que el uso de estos equipos está regido bajo las leyes que existe en cada territorio. En el Perú están sujetos a las normas del Ministerio de Transporte y comunicaciones, en la dirección de aeronáutica. (p.23). Para la clasificación de los UAV se pueden utilizar diferentes criterios, Sani (2015) menciona “El criterio más simple sea el que se basa en el tipo de aeronave utilizado para el diseño del vehículo” (figura 1).

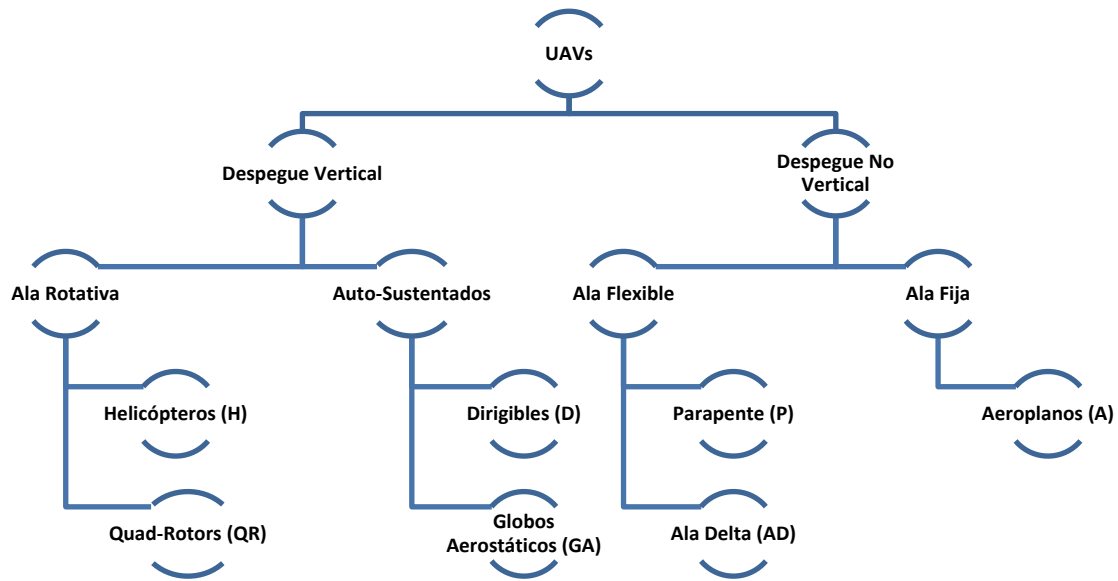


Figura N • 1: Clasificación de UAVs por el tipo de aeronave y despegue del equipo

Nota. Clasificación de los vehículos aéreos no tripulados. Elaboración propia con base en información de Camargo (2011).

•**FOTOGRAMETRÍA:** la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) la cual indica “Es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”. Esta última definición es más amplia, abarcando técnicas modernas, y eliminando casi las diferencias existentes entre la Fotogrametría y la Teledetección.

Sánchez (2006) indica que los procesos fotométricos se realizan en cuatro pasos bien diferenciados:

Orientación Interna: Es la reconstrucción de la forma del haz perspectivo o lo que es lo mismo reconstrucción de la cámara con la que se obtiene la imagen con la ayuda datos internos. En el caso de una fotografía, saber la distancia focal y otros parámetros.

Orientación Relativa: Determinación de la posición relativa de un haz respecto a otro, de tal forma que las intersecciones de puntos homólogos en la fotografía determinen los puntos del objeto.

Orientación Absoluta: Colocación y escalado de todo el bloque fotogramétrico con el apoyo de puntos de control referidos a un sistema de coordenadas terrestre.

Restitución: Determinación e identificación de pares estereoscópicos con los puntos de objetos foto identificables.

Estos cuatro pasos constituyen el método general de la Fotogrametría.

•**LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: Pachas (2009)** menciona: “Es el conjunto de actividades realizadas en campo con el objetivo de capturar información para determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, ya sea directamente o mediante un proceso de cálculo” (p. 30). Para dicho proceso en esta investigación se realiza con una Estación Total, que es un equipo electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico (Jiménez et al., 2019), a su vez el GPS Diferencial es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada (**Gonzales, 2010**).

Formulación del problema

- ¿Cuáles son los resultados obtenidos al analizar un levantamiento fotogramétrico con un Dron DJI PHANTOM 4 PRO, frente a un levantamiento topográfico con una Estación Total TOPCON OS- 105, entre los kilómetros 96 y 98 del tramo PE-08B de la red vial nacional Cajamarca - Celendín?

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la precisión, costo y tiempo de un levantamiento fotogramétrico frente a un levantamiento topográfico entre los kilómetros 96 y 98 del tramo PE-08B de la red vial nacional Cajamarca – Celendín.

Objetivos Específicos:

- Realizar un levantamiento fotogramétrico con Dron DJI PHANTOM 4 PRO, y un levantamiento topográfico con Estación Total TOPCON OS-105 entre los kilómetros 96 y 98 del tramo PE-08B de la red vial nacional Cajamarca – Celendín.
- Determinar la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con Dron en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con Estación Total.
- Presentar resultados comparativos de los levantamientos de acuerdo a sus eficiencias con respecto a zonas de acceso, orografía del terreno, costo y tiempo.

Hipótesis

Hipótesis General

Al analizar un levantamiento fotogramétrico frente a un levantamiento topográfico entre los kilómetros 96 y 98 del tramo PE-08B de la red vial nacional Cajamarca – Celendín, se estima que el levantamiento fotogramétrico es más eficiente en cuanto a precisión, tiempo e inversión.

Justificación

En la actualidad la necesidad de optimizar en tiempo y recursos la realización de levantamientos topográficos ha generado la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan obtener los datos de manera más rápida y a un menor costo sin perder la precisión y confiabilidad. Esto se puede lograr mediante la fotogrametría con Drones, en este caso para estudios de obras viales. Según **Quispe (2016)** afirma que el emplear un Dron en los levantamientos fotogramétricos, indica una reducción en costo y tiempo de realización cartográfica. Esta investigación tiene como propósito ampliar el conocimiento técnico del uso de Drones para levantamiento fotogramétrico de obras viales, realizando una evaluación de levantamiento fotogramétrico con Dron frente a un levantamiento topográfico con Estación Total, cuyos resultados de la investigación podrán ser utilizados para comparar el tiempo, costo y precisión en este tipo de proyectos.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tipo de investigación

La investigación planteada según la naturaleza de los datos es cuantitativa, porque se centra en el estudio y análisis de diversos procedimientos basados en la medición. Según el propósito es aplicada, porque está centrada en encontrar mecanismos que permita lograr un objetivo concreto. Y según la manipulación de las variables es cuasi experimental y de corte transversal, porque está referida a un tiempo y espacio específico. **(Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)**

El diseño empleado corresponde al siguiente gráfico:



O = Observación.

X1 = Variable (Comparación de levantamientos empleando el método con Dron y el método tradicional).

Población y muestra

Alfaro (2012) menciona “La población es el conjunto de todos los elementos que pertenecer al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación” (p. 52). Los datos de población analizada para la presente investigación corresponden a toda la vía PE-08B, Cajamarca – Celendín, es decir 102 kilómetros.

Así mismo, Alfaro (2012) menciona “La muestra es un fragmento representativo de la población que debe poseer las mismas propiedades y características de ella, de tal manera que los resultados obtenidos en la muestra puedan generalizarse a todos los elementos que conforman dicha población” (p. 53). La muestra analizada está constituida por un tramo de la Red Vial Nacional específicamente en la carretera PE-08B entre los kilómetros 96 y 98, es decir 02 kilómetros, que conecta a las ciudades de Cajamarca y Celendín, dicho tramo

cuenta con los diferentes escenarios que se desean analizar como: tramos rectos y sinuosos, señalización horizontal, zona rural y urbana, quebradas, orografía plana y accidentada, dicho tramo se encuentra entre las siguientes coordenadas:

- Inicio: Km 96+000 (814445.693 E; 9235942.22 N; 2779.631 msnm)
- Final: Km 98+000 (815030.575 E; 9237533.73 N; 2747.9984 msnm)

Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

Técnicas

- Para la presente investigación se utilizó la técnica de la observación y la medición.

Instrumentos:

Para el levantamiento fotogramétrico.

- 01 Dron Phantom 4 Pro incluido accesorios.
- 01 computadora portátil core i7 9na generación
- Software Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0 Build 5076
- Aplicación DJI PILOT. Para móvil.

Para el levantamiento topográfico.

- 01 Estación Total TOPCON OS105
- 03 prismas topográficos con bastones de aluminio
- 01 trípode TOPCON
- 04 radios MOTOROLA
- 01 GPS GARMIN

Los instrumentos utilizados fueron calibrados y certificados antes de su utilización, para la obtención de datos con mayor precisión y grado de confiabilidad.

Procedimiento

Paso 01: Datos preliminares en la zona de trabajo.

Para poder realizar el reconocimiento del lugar de trabajo primero se extrajo fotos satelitales del programa Google Earth, y posteriormente se realizó la visita de campo in situ, obteniendo información sobre los posibles puntos de estacionamiento para el levantamiento topográfico con Estación Total, y planes de vuelo para el levantamiento fotogramétrico con el Dron DJI Phantom 4 PRO.

Paso 02: Requerimientos preliminares.

Del Dron

Para el levantamiento fotogramétrico de la vía, se realizó con el Dron DJI Phantom 4 Pro, por las características que contienen, se describirán los anexos presentados (**Anexo 01**). El primer diagrama de flujo (figura 2) muestra el proceso para el Dron Phantom 4 Pro.



Figura N • 2: Diagrama de Flujo Phantom 4 PRO.

Nota. El diagrama muestra el proceso de datos con el Dron Phantom 4 PRO.

Nota. Elaboración propia.

De la Estación Total.

El levantamiento de la vía se realizó con Estación Total TOPCON OS-105, cuyas especificaciones técnicas se muestran en la **tabla 1**.

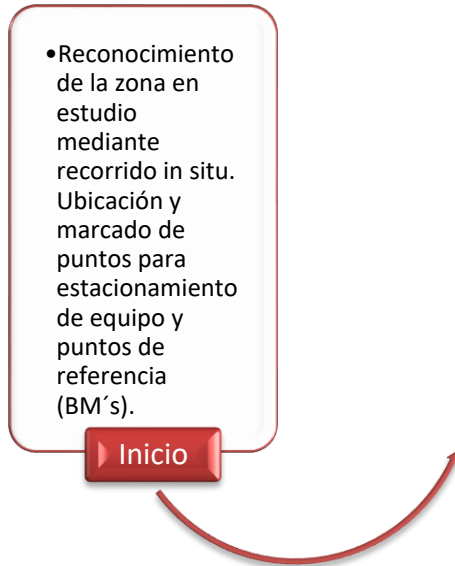


Figura N° 3: Diagrama de Flujo TOPCON OS-105.

Nota. El diagrama muestra el proceso de datos con la Estación Total TOPCON OS-105.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 1: Especificaciones técnicas de la Estación Total.

Características	Descripción	
MEDICIÓN DE ÁNGULOS		
Min. Resolución / Precisión	OS-105 1"/5" (25,4 mm/127 mm)	
Compensación	Compensador de doble eje	
DISTANCIA DE MEDICIÓN		
Rango EDM con prisma	4000 m (ES-107 3000 m)	
Tiempo de medición	Fina	0,9 s
	Rápido	0,7 s
	Seguimiento	0,3 s
COMUNICACIONES		
Long Link™ Bluetooth® Clase 1		
Ranura para USB 2.0 (Host + Slave)		
Serie RS-232C		

GENERAL	
Pantalla	LCD dual retroiluminada (visualización única ES-107)
Funcionamiento de la batería	Hasta 36 horas
Grado de protección	IP66
Conexión inalámbrica	Bluetooth® Clase 1
Temperatura de funcionamiento*	De -20 °C a +60 °C*

Nota. Esta tabla muestra las especificaciones técnicas de la Estación Total que se utilizará en el levantamiento topográfico para esta investigación.

Nota. Elaboración propia.

Paso 03: Análisis y exigencia.

El lugar de estudio es la carretera Celendín - Cajamarca, en la vía PE 08B entre los kilómetros 96 y 98. La carretera se encuentra en el distrito de José Gálvez, Provincia de Celendín, Región Cajamarca. El clima de la zona es frío.

Se realizó la verificación de la zona para ubicar las zonas de despegue y aterrizaje del dron, determinando que no existen peligros ni riesgos por la poca presencia de aves y la ausencia de cables o torres de alta tensión. Para el levantamiento topográfico se tomará como limite el derecho de la vía, es decir un ancho promedio de 10 m.



Figura N° 4 : Punto de control (BM N ° 07)

Nota: Elaboración propia

Paso 04: Señalización y georreferenciación de los puntos de control.

La señalización de los puntos de control terrestre para el Dron fueron Dianas pintadas con esmalte en lugares dentro y fuera de la vía los que a su vez sirvieron como BM's.

Para la señalización de los puntos de control de la Estación Total se hizo un recorrido de todo el tramo de la vía en el cual se realizó la monumentación en lugares estratégicos de BMs, las coordenadas de estos se tomaron con un GPS Diferencial dentro y fuera de la vía.



Figura N ° 5 : Punta BM 04.
Nota: Elaboración propia

Paso 05: Recolección de datos.

Del Dron.

La recolección y procesamiento de datos a obtener con el Dron se desarrolló de la siguiente manera:

- Como primer paso, se procedió al reconocimiento del área de estudio para identificar posibles impactos con árboles, cables eléctricos, postes o torres de telecomunicaciones, todo esto proporcionó la estimación de la altura y dirección de la línea de vuelo para la aeronave.

- Cabe señalar que inicialmente se realizó un recorrido para la ubicación de Puntos de Referencia (BM's), cuyos datos fueron obtenidos mediante GPS Diferencial, los que se muestran en la **Tabla 3**.
- Estos BM's a su vez, sirvieron como Dianas (Puntos de Control) para el levantamiento fotogramétrico, los cuales fueron pintados de tal manera que se puedan identificar claramente desde la altura de la línea de vuelo.



Figura N° 6: Pintado de los puntos de control con esmalte sintético, los que a su vez servirán como dianas para el levantamiento fotogramétrico.

- Luego mediante la aplicación para móvil DJI Pilot, la cual cuenta con mapas de imágenes satelitales, se trazó la línea de vuelo antes determinada. En la interfaz también se configuraron los parámetros de vuelo para una óptima toma de datos, los cuales se detallan a continuación:



Figura N° 7: Mapas de imágenes satelitales

Nota: Elaboración propia.

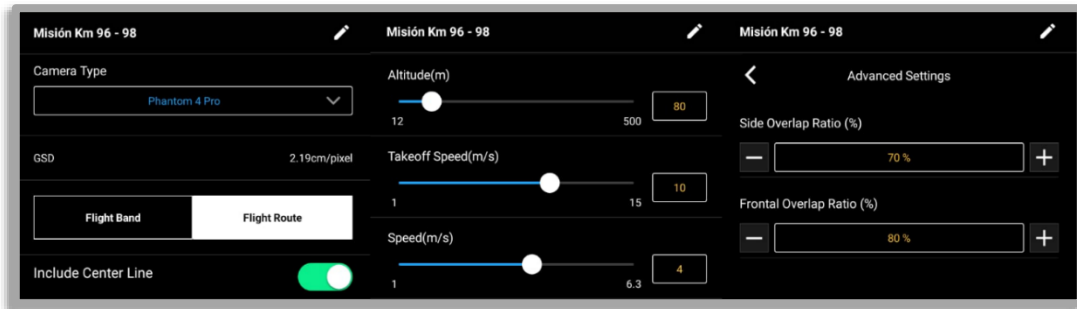


Figura N° 8: Datos del Dron

Nota. Elaboración propia.

- Altura de vuelo : 100 m.
- Velocidad de vuelo : 4 m/s.
- Traslape lateral de fotos : 70%.
- Traslape frontal de fotos : 80 %.

Con estos parámetros se calculó automáticamente detalles de la misión de vuelo:



Figura N ° 9: Detalles de Misión de Vuelo

Nota. Elaboración propia.

- Tiempo estimado de vuelo : 32 min. 59 seg.
- Distancia total de recorrido : 7 194 m.
- Puntos de ruta de vuelo : 38 puntos
- Número de fotos : 451 fotos
- Área cubierta : 227,919 m2

- Después de haber concluido con todas las configuraciones se procedió a iniciar el despegue del Dron establecido como punto de partida a unos metros del Km 96+000, para esto se verificó el correcto funcionamiento del equipo con los criterios de la **Tabla 02**.

Tabla 2: Check list para el funcionamiento del Dron.

Ítem	Descripción	Si	No	Observación
1	La Batería cargada al 100% del dron, si es posible tener baterías adicionales	X		
2	Verificar la colocación de las hélices del dron según el manual del usuario.	X		
3	Verificar el emparejamiento del control remoto y el dron.	X		
4	Verificar la calibración del dron. Calibrar el estabilizador (gimbal), la brújula, sensores, y el IMU.	X		
5	Verificar el correcto funcionamiento de la cámara fotográfica.	X		
6	Verificar que la memoria se encuentre formateada, en este dispositivo se almacenara todas las fotografías capturadas, recomendable que sea mayor a 6 GB.	X		
7	Retirar todos los seguros que contenga el dron antes del encendido y posterior despegue.	X		

Fuente. Elaboración propia.

De la Estación Total.

Una vez realizado la identificación de los puntos de control se procedió a realizar el levantamiento topográfico con Estación Total. Para ello se utilizó una Estación Total TOPCON OS – 105, dos prismas con sus respectivos jalones, un trípode TOPCON, una wincha de 50m, esmalte sintético y pinceles.



Figura N° 10: Monumentación de los puntos de control con esmalte sintético de color celeste, los que a su vez servirán como Dianas para el levantamiento fotogramétrico.

Nota. Elaboración propia.



Figura N° 11: Punto de control (BM- 06)

Nota. Elaboración propia.

Posteriormente se realizó la radiación de puntos por secciones transversales perpendiculares al eje de la vía, aproximadamente cada 10m de distancia, con un estimado de entre 8 a 15 puntos por sección dependiendo de la accesibilidad del terreno.



Figura N • 12: Radiación de puntos en todo el tramo de la vía en estudio (Km 96+000 – Km 98+000).

Nota. Elaboración propia.

Los datos de los BM's obtenidos se muestran a continuación en la tabla N° 03.

Tabla 3: Cuadro de puntos de control (BM's).

CUADRO DE BMS				
PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCION
1	814445.693	9235942.22	2779.3631	BM-01
2	814447.499	9235934.53	2779.3602	BM-02
3	814693.121	9236314.54	2795.091	BM-03
4	814684.398	9236313.77	2794.365	BM-04
5	814889.914	9236703.86	2782.8448	BM-05
6	814897.099	9236698.12	2782.4965	BM-06
7	815034.334	9237107.51	2764.4391	BM-07
8	815042.13	9237110.18	2764.5645	BM-08
9	815023.016	9237536.35	2747.7428	BM-09
10	815030.575	9237533.73	2747.9984	BM-10

Nota. Elaboración propia.

Paso 06: Procesamiento de análisis de datos.

Procesamiento de análisis de datos de la Estación Total.

Una vez terminado el levantamiento topográfico, se procedió a descargar los datos obtenidos de la Estación Total, mediante una memoria USB, para luego subirlo al software en el que trabajaremos dicha información, que en este caso será el Civil 3D 2019.

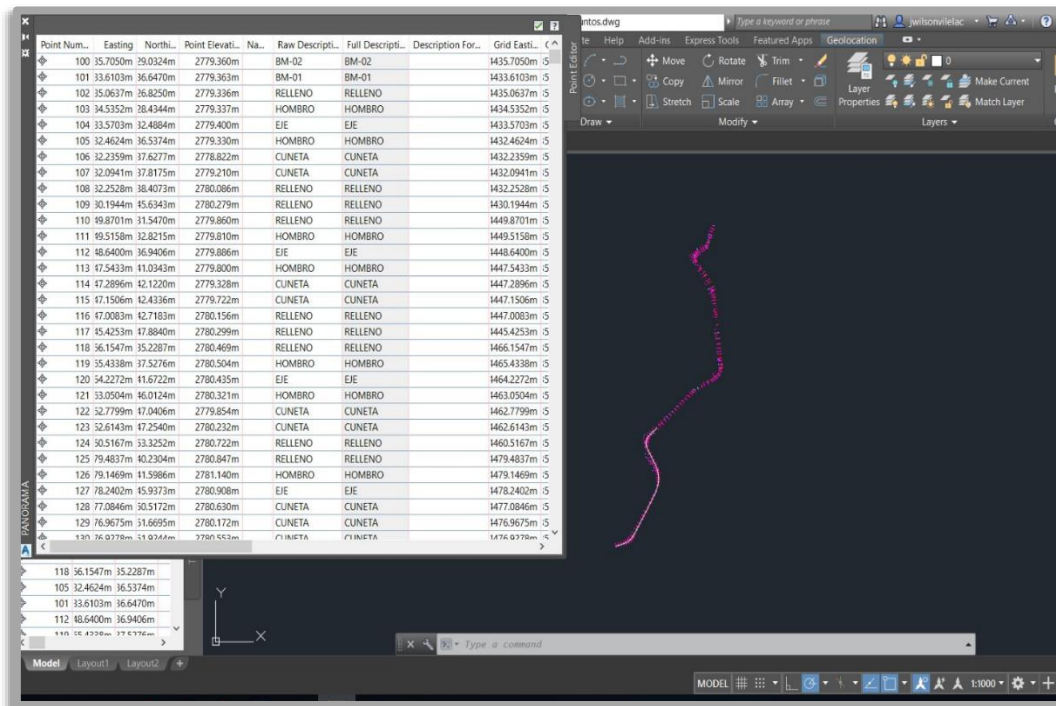


Figura N ° 13 : Puntos del levantamiento topográfico subidos al software Civil 3D 2019 para procesamiento de datos.

Nota. Elaboración propia

Para este levantamiento se han dado descripciones específicas para los puntos tomados, de esta manera se evita confusiones a la hora de procesar los datos. Una vez exportados los puntos, se ha procedido a unir con una polilínea 3D los puntos que tengan la misma descripción. Esto facilitará la elaboración de la superficie. Se debe tener cuidado de hacer que las polilíneas creadas se crucen entre sí, esto crearía una superficie distorsionada, la cual tendríamos que corregir en la triangulación de los puntos.

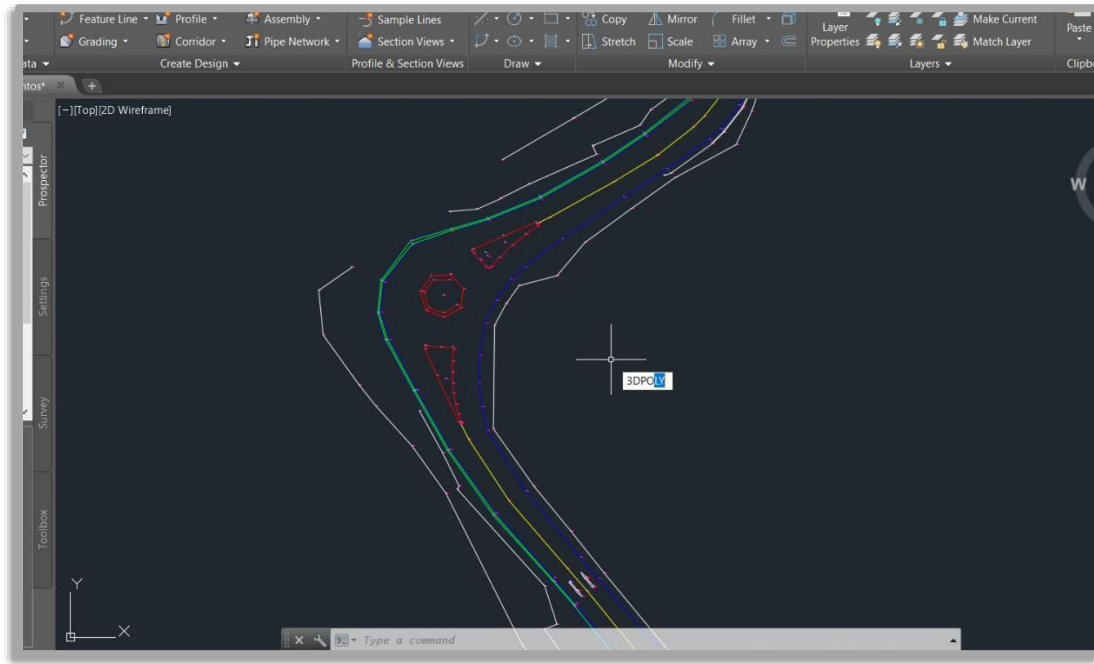


Figura N • 14 : Creación de polilíneas 3D que unen los puntos con la misma descripción.

Nota. Elaboración propia.

Una vez unidos todos los puntos con las respectivas polilíneas se procedió a crear la superficie a partir de estas, posteriormente a este proceso se creó un alineamiento del eje de la carretera, el mismo que debe coincidir con los puntos etiquetados en el levantamiento como “eje”. Este luego sirvió para realizar el perfil longitudinal y seguido a esto las secciones transversales, las mismas que se utilizaron para hacer las respectivas comparaciones con el resultado del levantamiento fotogramétrico.

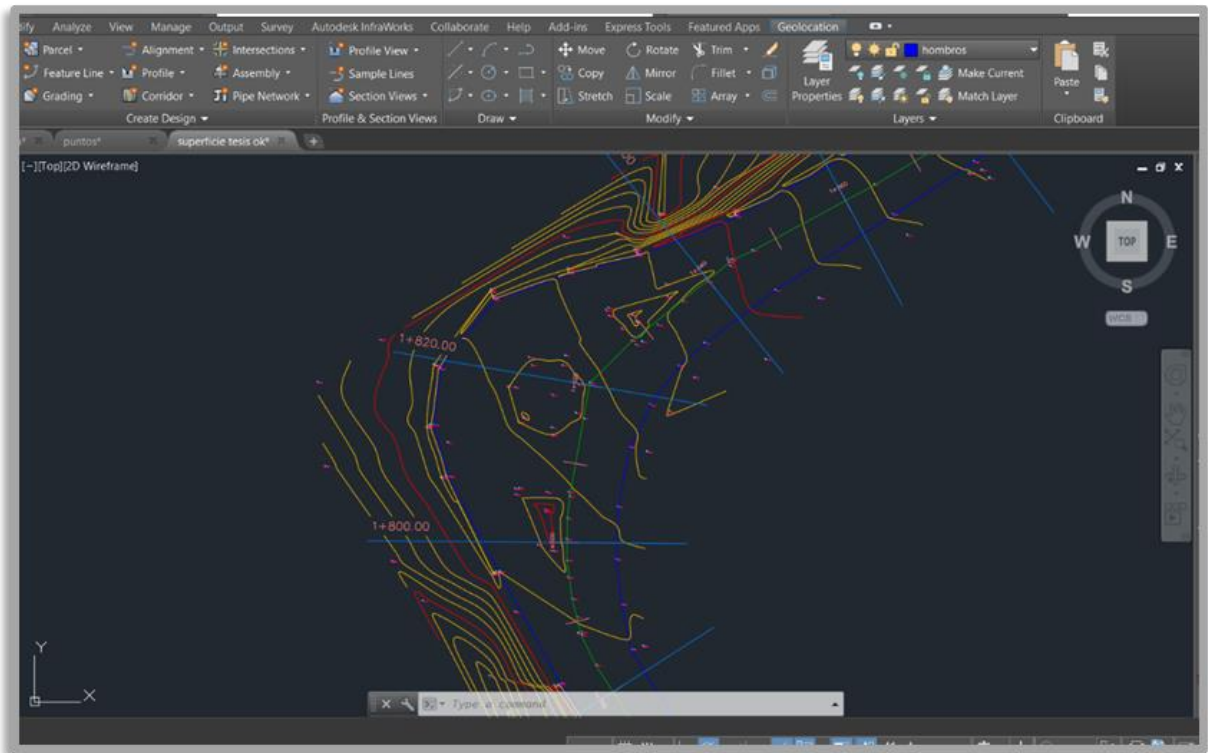


Figura N ° 15 : Creada la superficie se procedió a crear el alineamiento, en el mismo que se utilizó para crear las secciones transversales y el perfil longitudinal.

Nota. Elaboración propia.

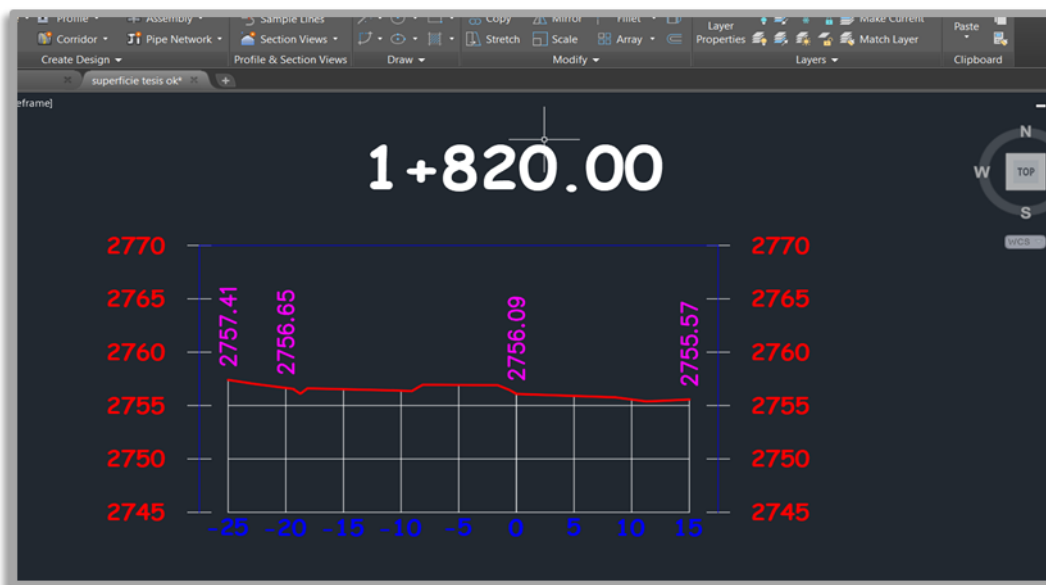


Figura N ° 16 : Secciones transversales creadas a cada 20m de longitud a partir del alineamiento.

Nota. Elaboración propia.

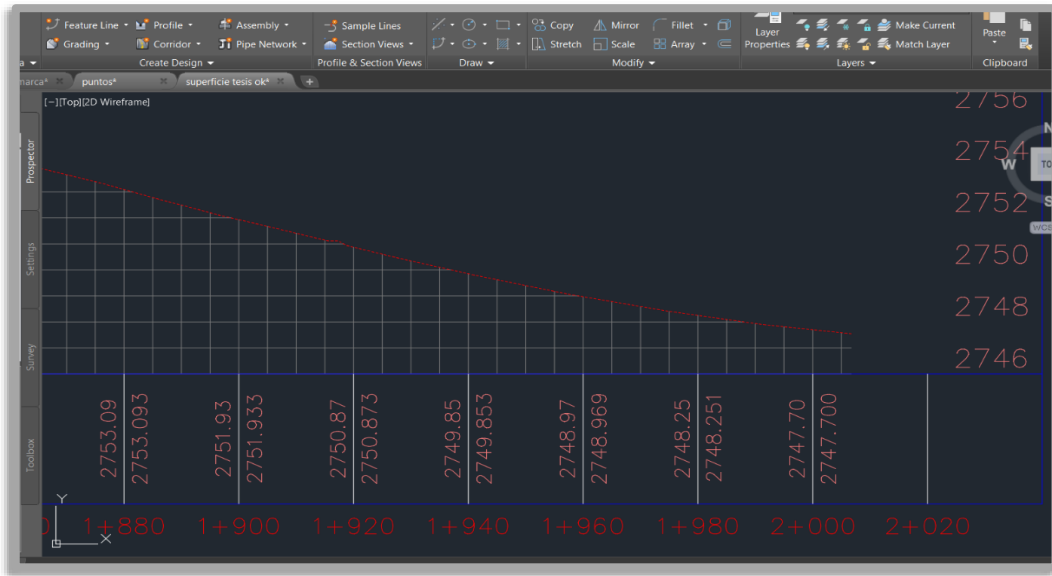


Figura N • 17 :Perfil longitudinal del eje de la vía

Nota. Elaboración propia.

Procedimiento de análisis de datos del Dron.

Para el procesamiento las fotografías obtenidas, se realizó el procesamiento de datos en gabinete haciendo uso del programa para computadora, Agisoft Metashape Professional.

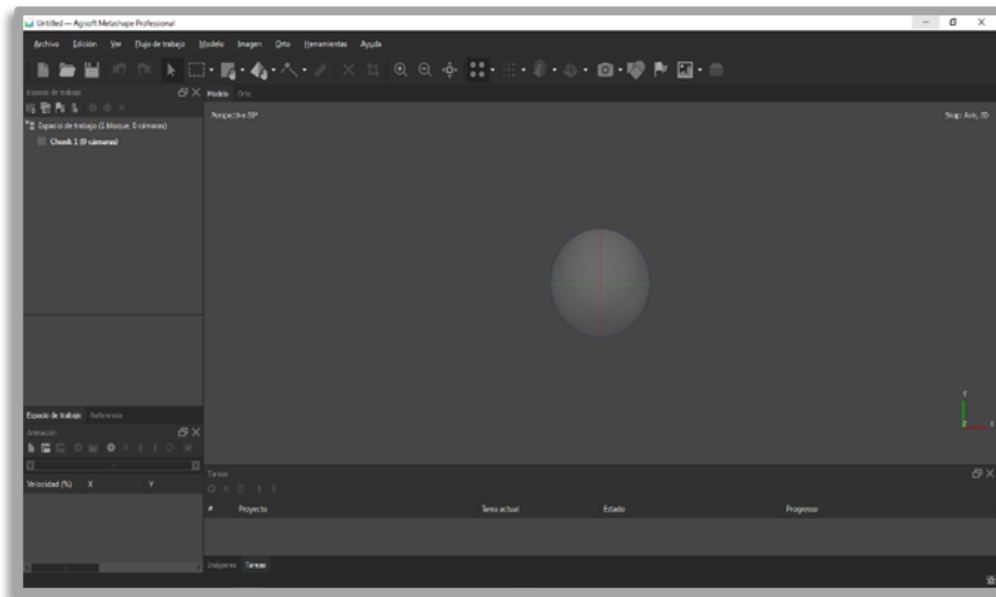


Figura N • 18: Interfaz del programa Agisoft Metashape Professional.

Nota. Elaboración propia.

Los pasos a seguir para el procesamiento de las fotografías, son los siguientes:

- En la pestaña flujo de trabajo, se selecciona la opción añadir fotos:

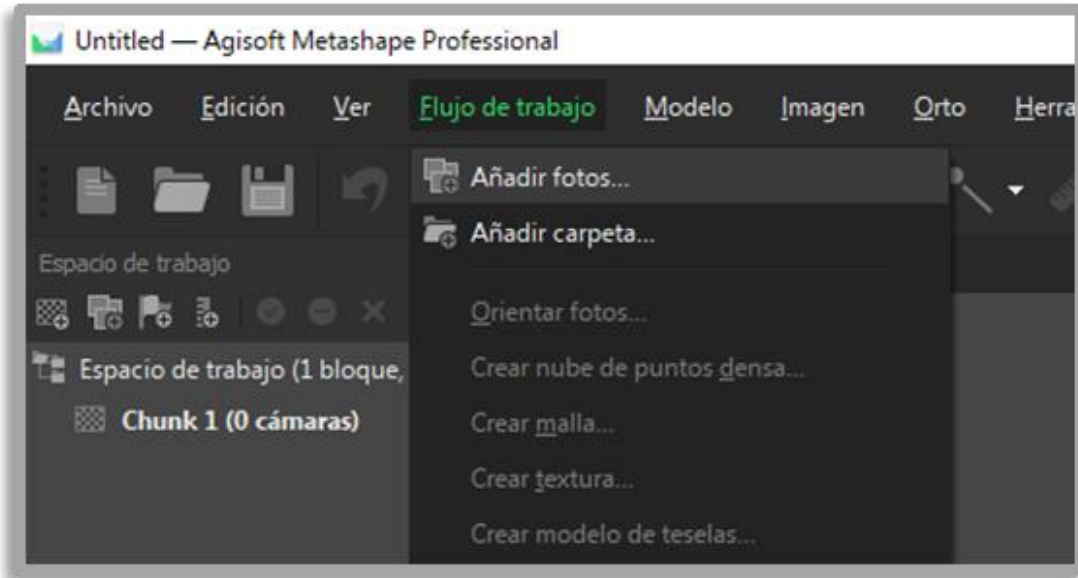


Figura N • 19: Paso 1 en el procesamiento de las fotografías.
Nota. Elaboración propia.

- Una vez añadidas las fotos se seleccionó el sistema de coordenadas WGS 84, zona 17 Sur, en el cual está ubicada la zona de estudio.

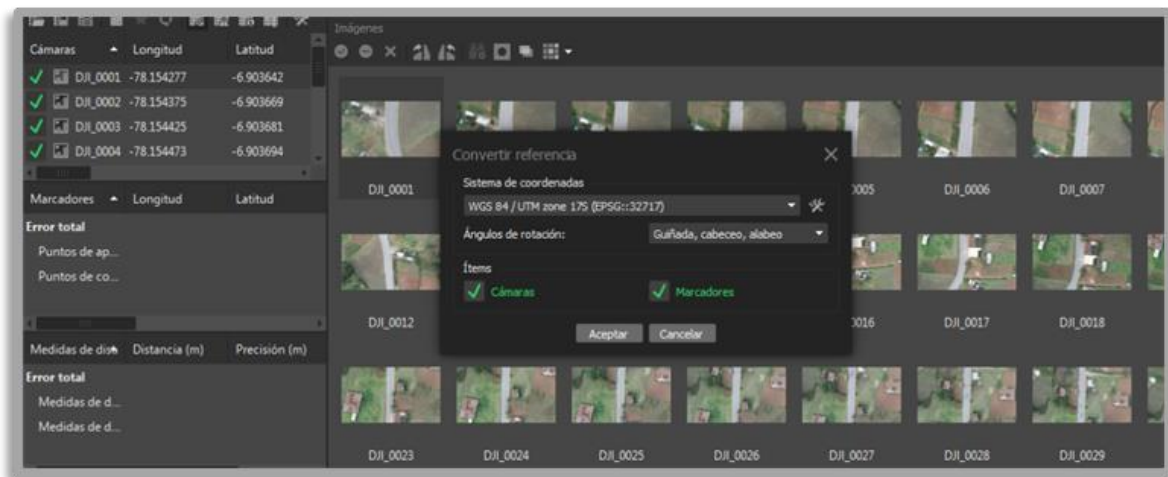


Figura N • 20: Segundo paso en el procesamiento de las fotografías.

Nota. Elaboración propia.

- Como siguiente paso se importaron los datos de los BM's, los cuales fueron utilizados como Puntos de Control.

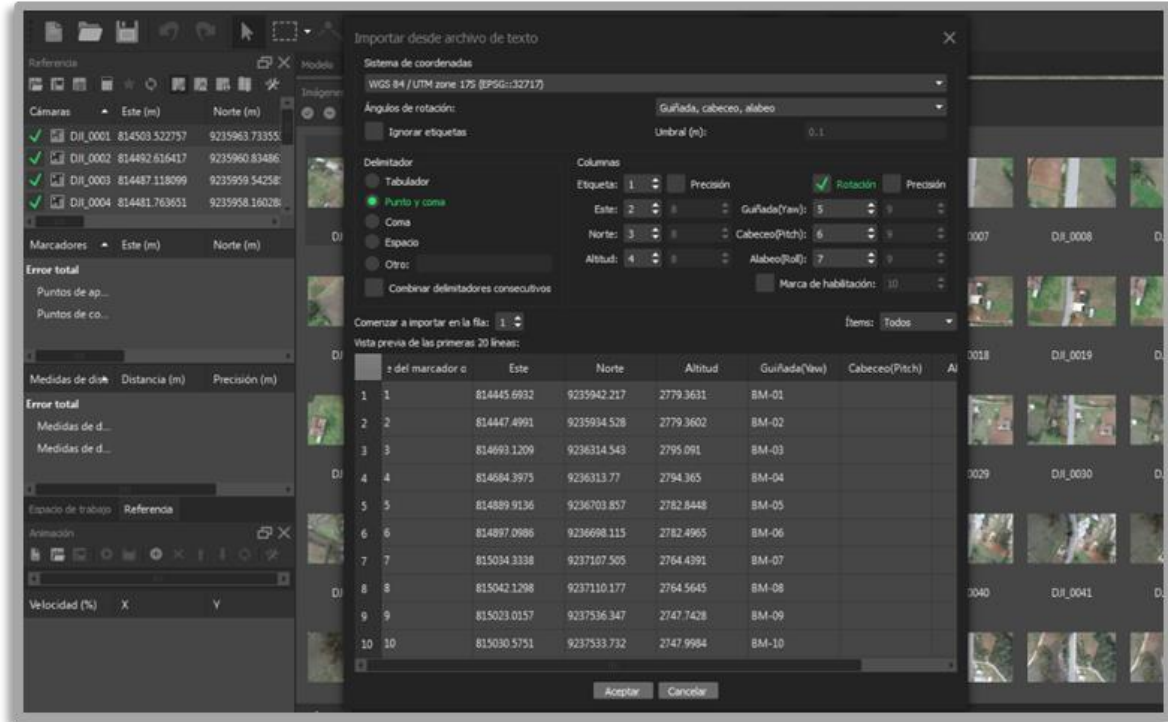


Figura N ° 21: Tercer paso en el procesamiento de las fotografías.
Nota. Elaboración propia.

- Posteriormente en la pestaña de Flujo de Trabajo, se seleccionó la opción de Orientar Fotos, en donde se escogió la opción de Precisión Máxima.

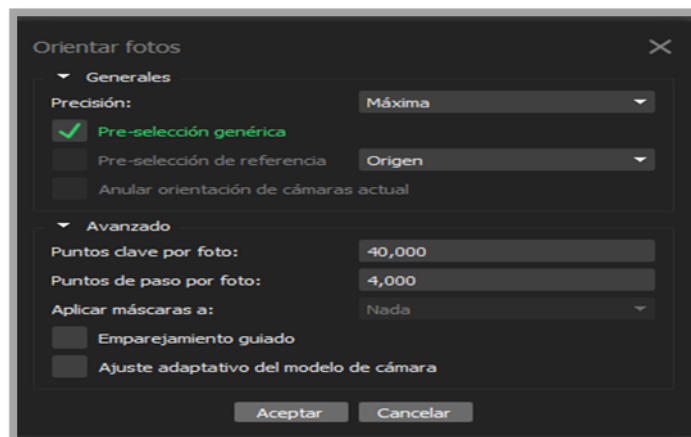


Figura N ° 22: Cuarto paso en el procesamiento de las fotografías.
Nota. Elaboración propia.

- Finalizada la orientación de fotos se creó una nube de Puntos Dispersa, cuya nube de puntos consta de 941,026 puntos.

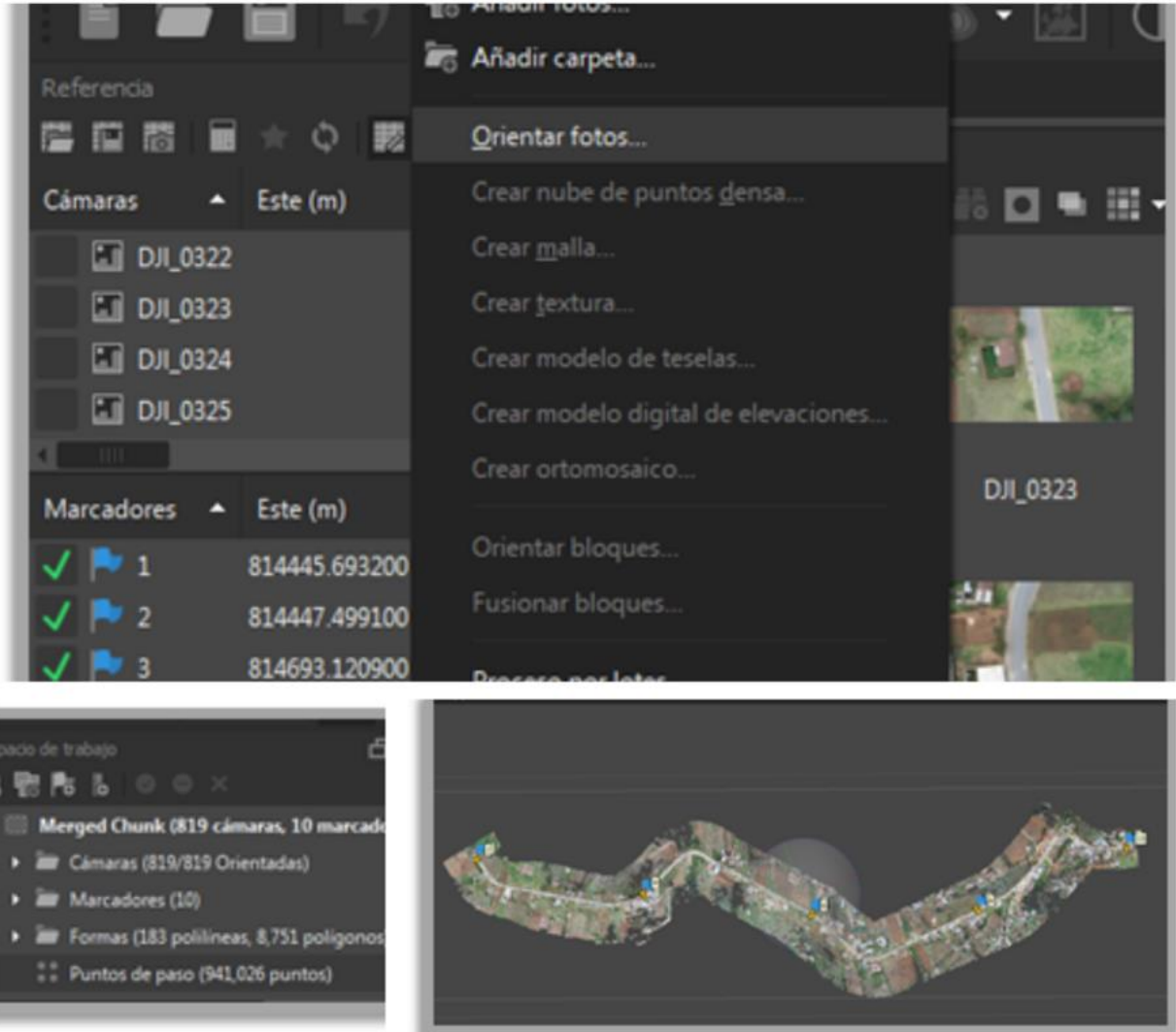


Figura N • 23: Creación de nube de puntos dispersa y número total de puntos creados (941,026 puntos).

Nota. Elaboración propia.

- Con esta nube de puntos dispersa se procedió al ajuste de todos los Puntos de Control con las fotos que contienen las Dianas antes elaboradas, con esto se realizó un reajuste tanto en ubicación como de elevación en el grupo de fotos.

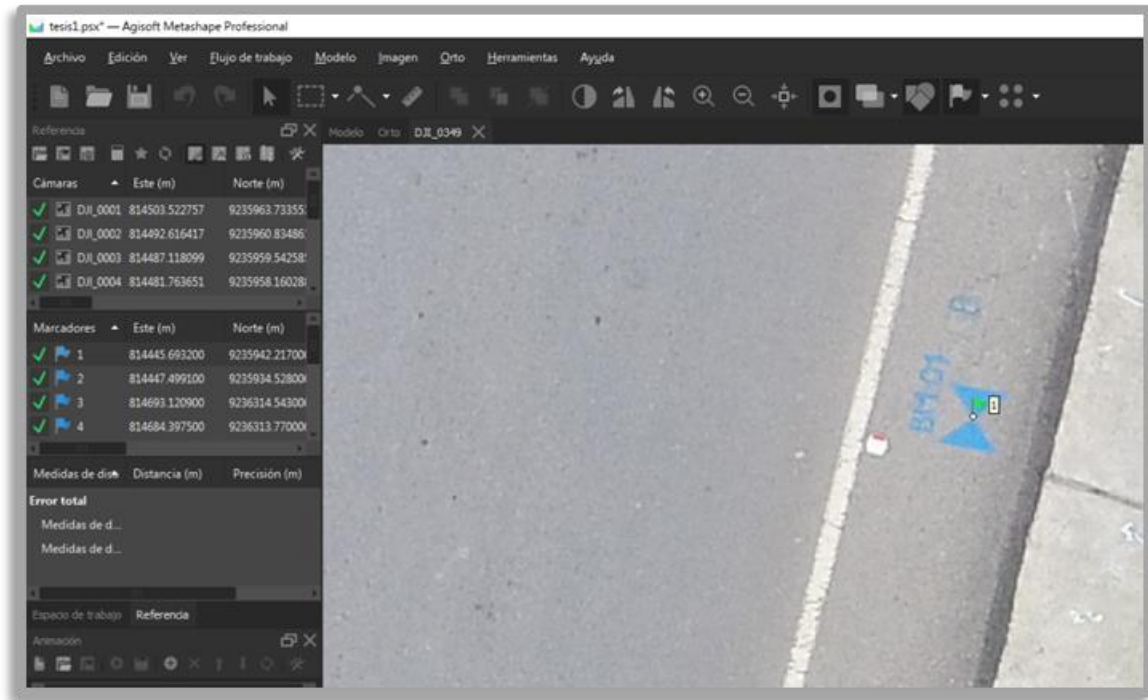


Figura N • 24 : Procesamiento de las fotografías.

Nota. Elaboración propia

- Culminado el reajuste de las fotos, el siguiente paso fue la creación de la Nube de Puntos Densa, que finalmente generó 8,166,647 puntos en total.

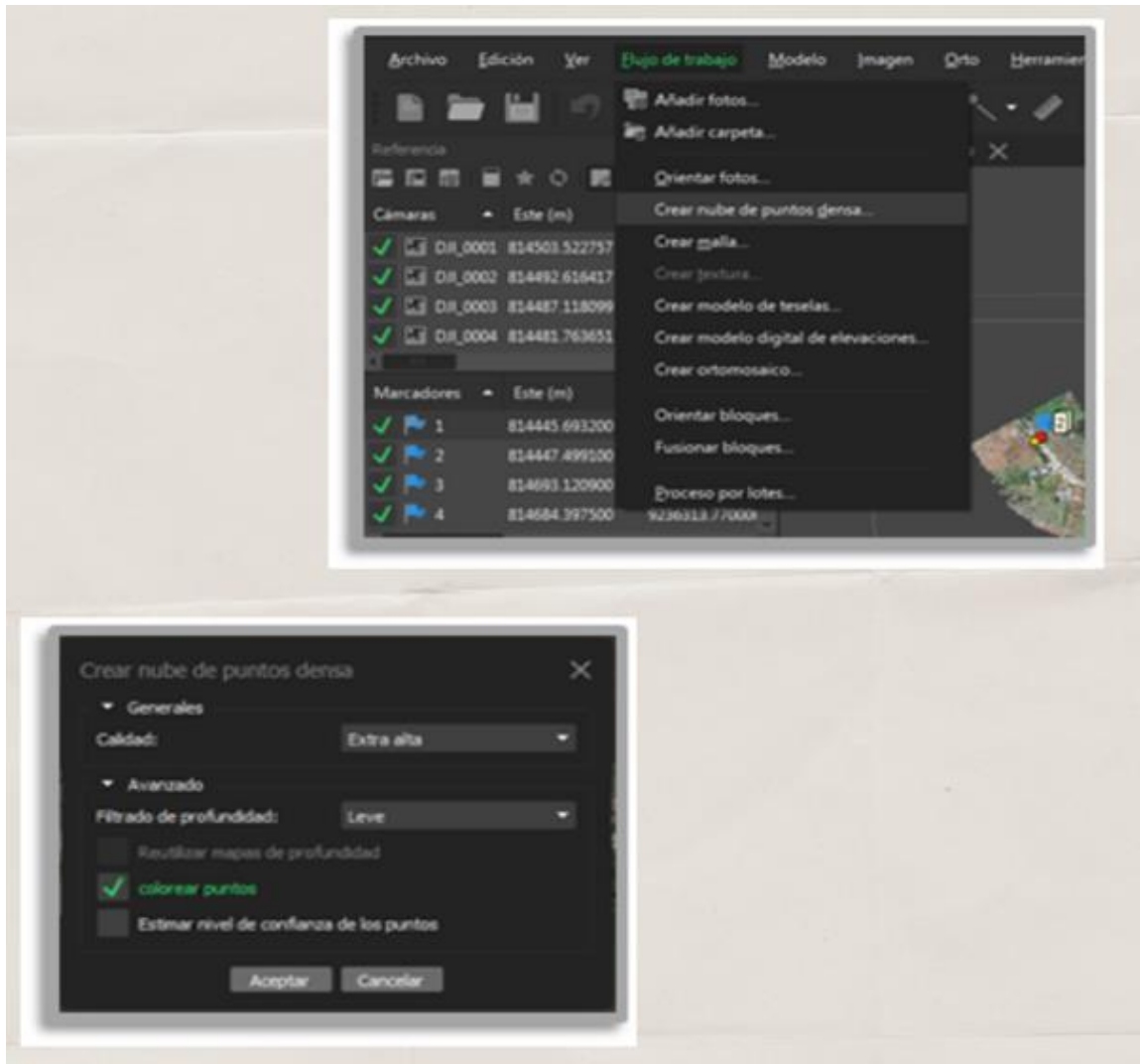


Figura N ° 25 : Sexto paso en el procesamiento de las fotografías, opciones para la creación de la nube de puntos densa.

Nota. Elaboración propia.

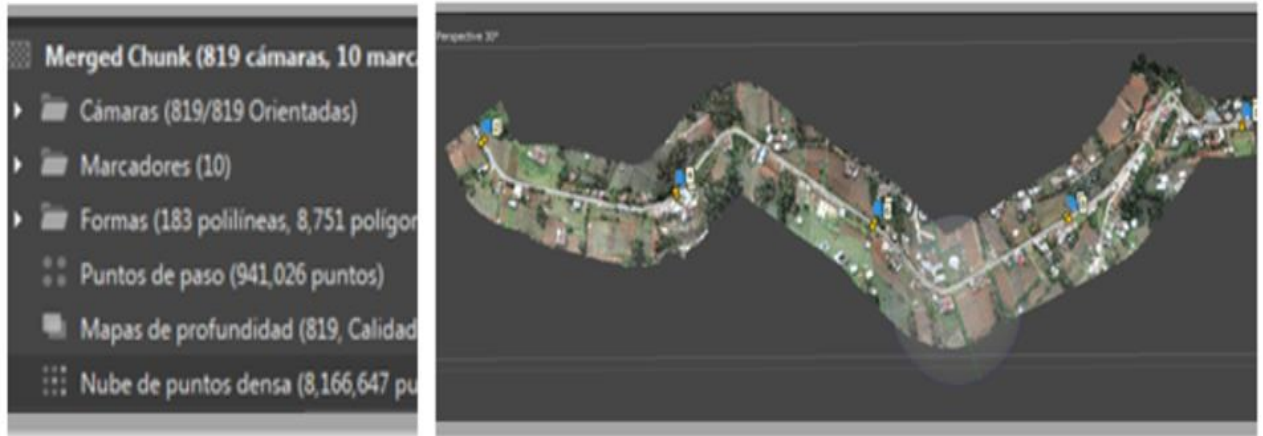


Figura N ° 26: Creación de nube de puntos y número total de puntos creados (8,166,647 puntos).
Nota. Elaboración propia.

- Prácticamente se generaron los puntos requeridos para exportarlos y procesarlos con el programa Civil 3D, sin embargo, fue necesario seleccionar puntos descartando objetos innecesarios como árboles, vehículos, postes, casas, animales, etc. Para ello nos dirigimos a la pestaña Herramientas, Nube de puntos densa y seleccionamos Clasificar puntos.

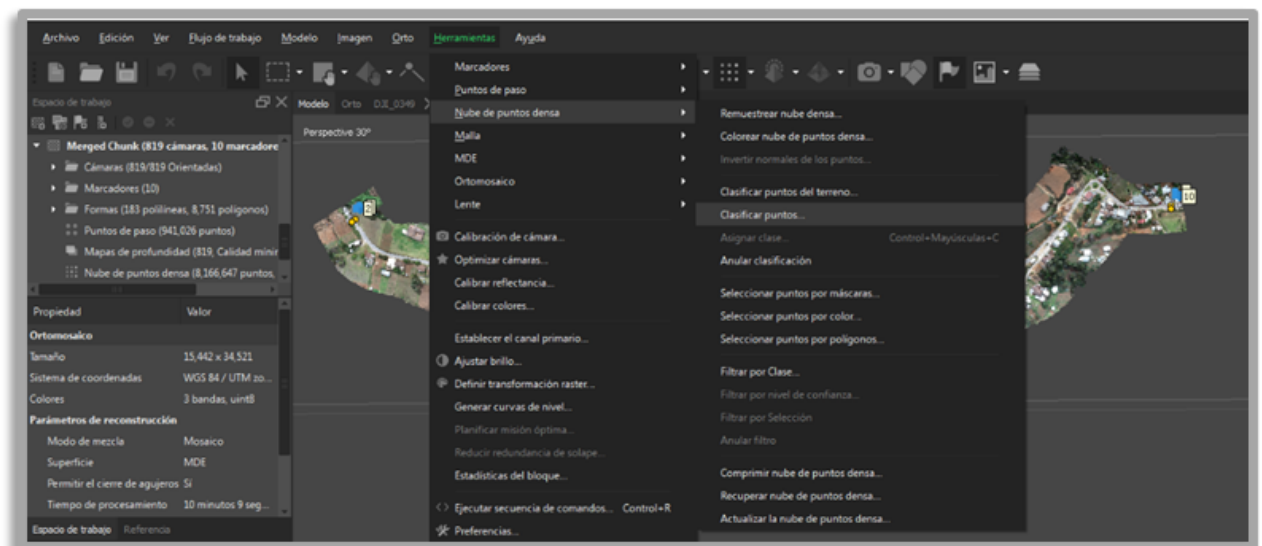


Figura N ° 27: Clasificación de puntos, por tipo
Nota. Elaboración propia.

- Después de clasificar los puntos seleccionando solo los puntos de la superficie se obtuvo la siguiente superficie. Se puede observar que todos los puntos clasificados para la exportación se encuentran de color Sepia.

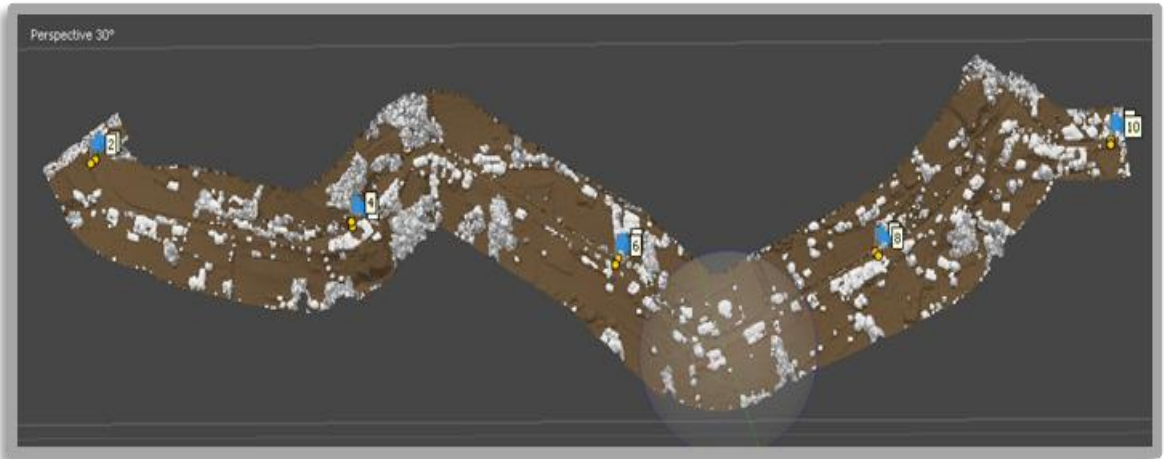


Figura N ° 28: Nube de puntos densa con puntos clasificados por tipo.
Nota. Elaboración propia.

- Se generó el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), para corroborar posibles errores y cerciorarse de que las elevaciones sean correctas.

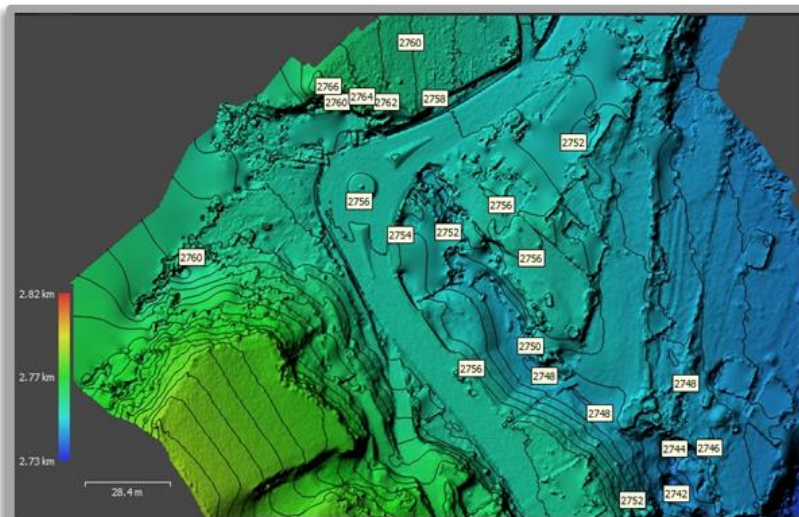


Figura N ° 29: MDE con curvas de nivel
Nota. Elaboración propia.

- Adicionalmente también se generó un Ortomosaico, el cual se puede exportar en diferentes formatos para ser utilizados en otros campos adicionales de la ingeniería como la Cartografía.

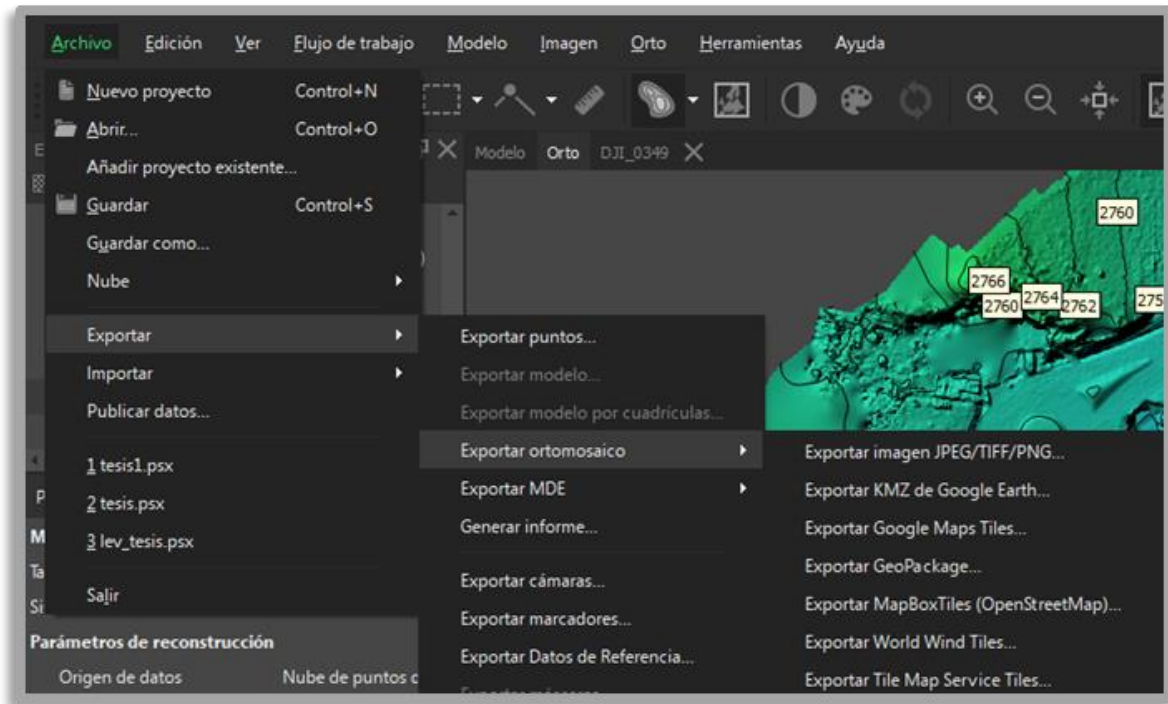


Figura N ° 30: Exportación de ortomosaico.
Nota. Elaboración propia.

- Finalmente, el programa Agisoft Metashape Professional permite generar un Informe del procesamiento de datos en el cual se muestran a detalle todos los datos de cada procedimiento, el cual se adjunta en el Anexo 04.

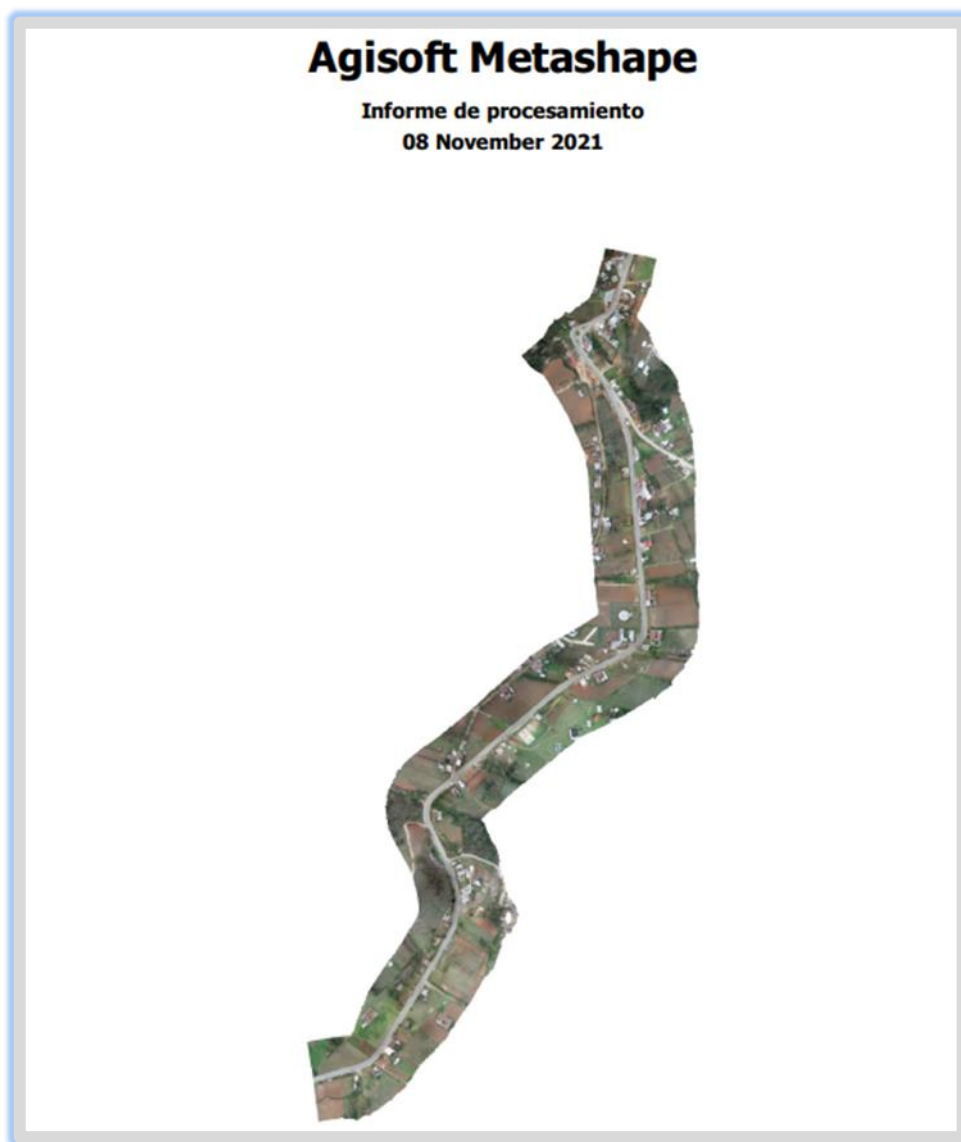


Figura N ° 31 : Informe de procesamiento.
Nota. Elaboración propia.

- Se exportaron los puntos clasificados en formato “.txt” para procesarlos en el programa Civil 3D.

Aspectos éticos.

El presente estudio se realizó tomando en cuenta consideraciones éticas tales como reserva, confidencialidad y anonimato de la información, por lo que los hallazgos resultantes de la investigación no serán empleados para aspectos administrativos o de orden legal que puedan perjudicar al personal o a las instituciones que han intervenido en la misma. Así mismo, se consideró los impactos sobre la naturaleza, sin causar un impacto negativo en el medio ambiente donde se desarrolló la investigación, sin afectación al medio o los seres que habitan en él.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Los datos obtenidos en este informe están direccionados a responder la pregunta presentada en la formulación del problema, las soluciones, la metodología aplicada tanto en campo como en gabinete, los softwares que se utilizaron. Todo esto en conjunto para finalmente obtener el estudio.

A través de las herramientas utilizadas en la recolección y procesamiento de los datos obtenidos en campo mediante dos tipos diferentes de levantamiento (un levantamiento topográfico con Estación Total y un levantamiento fotogramétrico con Dron DJI Phantom 4 PRO), se pudo evidenciar resultados que nos permitieron demostrar cuál de los dos procesos es el más eficiente y eficaz respecto al tiempo, costo y precisión. Cabe mencionar que los datos obtenidos en esta investigación se han ceñido específicamente para levantamientos topográficos del tipo de replanteo de una vía existente, por lo que no se recomienda tomar dichos resultados obtenidos en este trabajo como referencia para otro tipo de levantamientos topográficos en donde se requiere mucha más precisión.

A continuación, se pueden reflejar la comparación de resultados en las figuras y tablas presentadas.



Tabla 4 : Cuadro comparativo en donde se aprecia la diferencia de costos entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico, en donde el costo de levantamiento topográfico es 3.25 veces más que el del levantamiento fotogramétrico.

CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS Y TIEMPO DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y FOTOGRAMETRICO						
TIPO DE LEVANTAMIENTO	RECURSOS	UNIDAD	CANT.	COSTO (INC. IGV)	DÍAS	SUBTOTAL
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	COSTO TOTAL PARA LEVANTAMIENTO DE 02 KILOMETROS					S/2,280.00
	ALQUILER DE ESTACION TOTAL + ACCESORIOS	GLB	1	S/120.00	3	S/360.00
	TOPOGRAFO	UND	1	S/100.00	3	S/300.00
	AYUDANTES PRISMEROS	UND	2	S/60.00	3	S/360.00
	MOVILIDAD	UND	1	S/150.00	3	S/450.00
	RADIOS	UND	3	S/40.00	3	S/360.00
	ALIMENTACION Y HOSPEDAJE	GLB	1	S/150.00	3	S/450.00
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO	COSTO TOTAL PARA LEVANTAMIENTO DE 02 KILOMETROS					S/700.00
	ALQUILER DE DRON DJI PHANTOM	GLB	1	S/400.00	1	S/400.00
	OPERADOR	UND	1	S/100.00	1	S/100.00
	MOVILIDAD	UND	1	S/150.00	1	S/150.00
	ALIMENTACION	UND	1	S/50.00	1	S/50.00

Nota: Elaboración propia

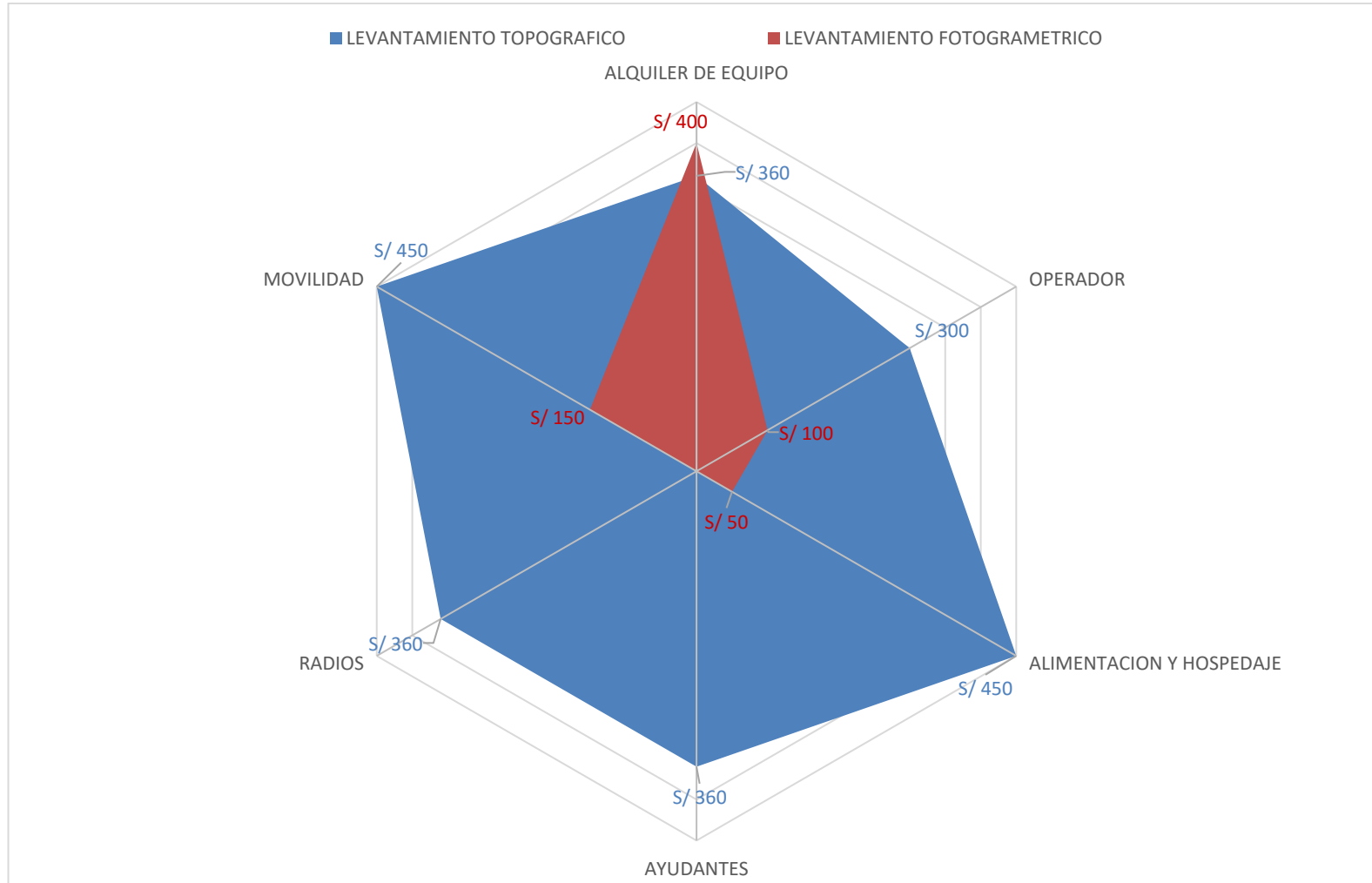


Gráfico N° 01: Comparación de costos.
Nota: Elaboración propia.

Tabla 5 : Cronograma para el levantamiento topográfico en días calendarios, en donde se evidencia el tiempo total que se ha tomado en recolectar los datos en campo y el procesamiento de los mismos en gabinete.

CRONOGRAMA DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO			DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	01.	TRABAJO EN CAMPO								
	01.01	RECONOCIMIENTO DEL LUGAR DE TRABAJO								
	01.02	IDENTIFICACION Y MONUMENTACION DE BM's								
	01.03	RADIACION DE PUNTOS								
	02.	TRABAJO EN GABINETE								
	02.01	PROCESAMIENTO DE DATOS								
	02.02	PLOTEO DE PLANOS								
EL TIEMPO TOTAL ESTIMADO PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ENTRE LAS PROGRESIVAS Km 96+000 HASTA Km 98+000 ES DE 08 DIAS CALENDARIOS										

Nota: Elaboración propia



Tabla 6 : Cronograma para el levantamiento fotogramétrico en días calendarios, en donde se evidencia el tiempo total que se ha tomado en recolectar los datos en campo y el procesamiento de los mismos en gabinete. Comparando resultados obtenidos en la tabla anterior, se puede deducir que en términos de tiempo, el levantamiento fotogramétrico es 25% mas rápido.

CRONOGRAMA DEL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO			DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6
LEVANTMIENTO FOTOGRAMETRICO	01.	TRABAJO EN CAMPO						
	01.01	RECONOCIMIENTO DEL LUGAR DE TRABAJO						
	01.02	IDENTIFICACION Y MONUMENTACION DE BM's						
	01.03	CAPTURA DE FOTOGRAFIAS 3D						
	02.	TRABAJO EN GABINETE						
	02.01	PROCESAMIENTO DE DATOS						
	02.02	PLOTEO DE PLANOS						
EL TIEMPO TOTAL ESTIMADO PARA EL LEVANTMIENTO FOTOGRAMETRICO ENTRE LAS PROGRESIVAS Km 96+000 HASTA Km 98+000 ES DE 06 DIAS CALENDARIOS								

Nota: Elaboración propia

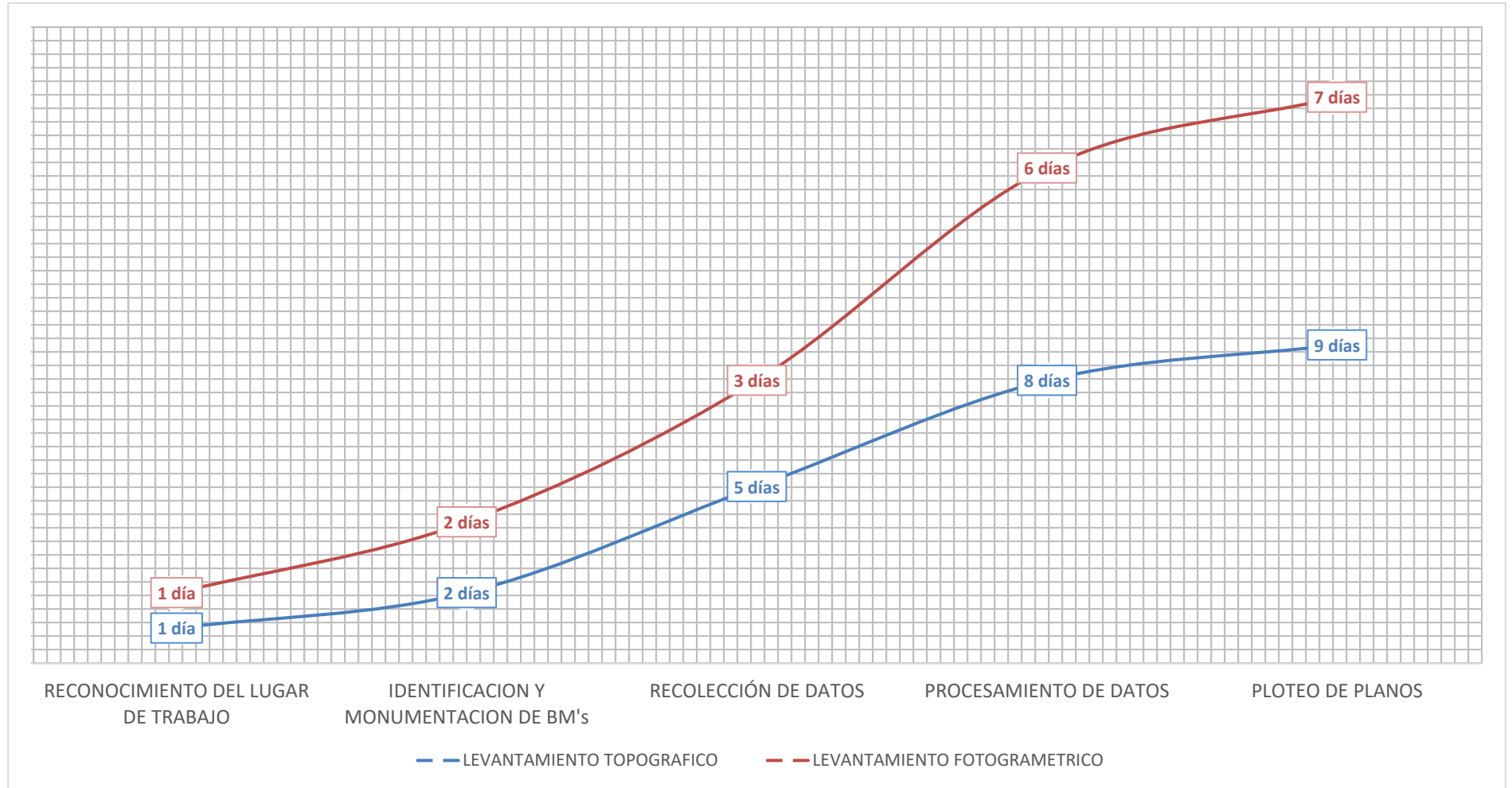


Gráfico N° 02: Comparación de tiempo acumulado en días para recolección y procesamiento de datos.
Nota: Elaboración propia.

Para la comparación de los datos obtenidos en campo, se procedió a la creación de dos superficies mediante el uso del software Civil 3D, para ello se importaron los puntos tomados con Estación Total y los puntos clasificados de la nube de puntos densa exportados del software Agisoft Metashape Professional del Dron, los cuales fueron creados en un mismo archivo superpuestos con el fin de estudiarlos a detalle, preliminarmente coinciden en cuanto a la ubicación de coordenadas Este y Norte, otra apreciación importante es el mayor rango de cobertura que se obtiene con el Dron, tal como se muestra en la Figura N ° 30.

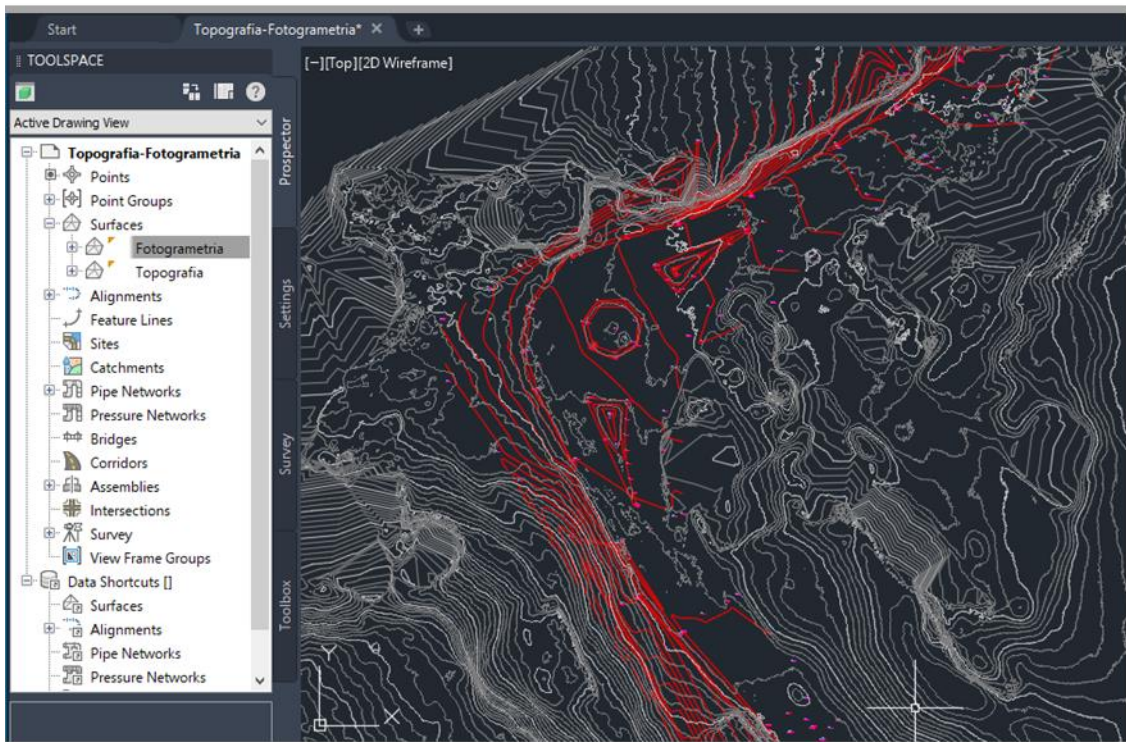


Figura N ° 32: Creación de superficies en el software Civil 3D, se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Topográfico, y de color plomo la superficie del levantamiento Fotogramétrico.

Nota: Elaboración propia

Posteriormente se realizó un alineamiento a lo largo del eje de la vía, el cual sirvió como base para las comparaciones más detalladas tanto en ubicación como en elevación.

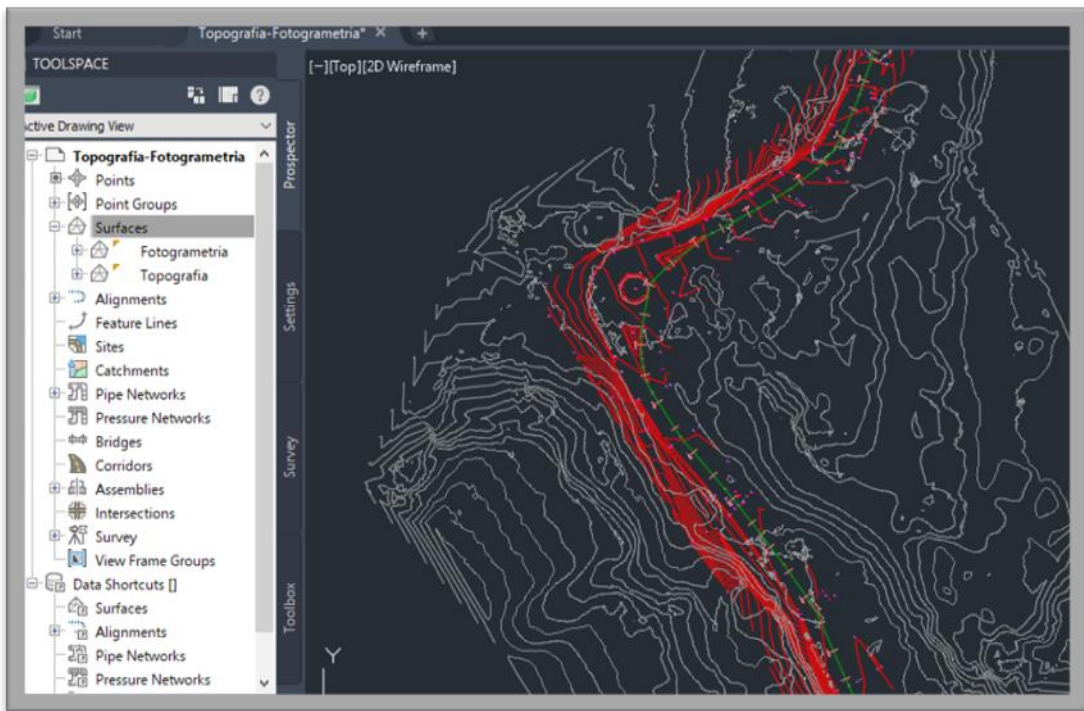


Figura N ° 33: Creación de alineamiento en el software Civil 3D, se aprecia de color verde el alineamiento a lo largo del eje de la vía.

Nota: Elaboración propia

De la creación de este alineamiento se obtuvo el perfil longitudinal, en el cual se pudieron apreciar a simple vista todas las diferencias en cuanto a la elevación entre ambas superficies, tal como se muestra en la **Figura N ° 33**.

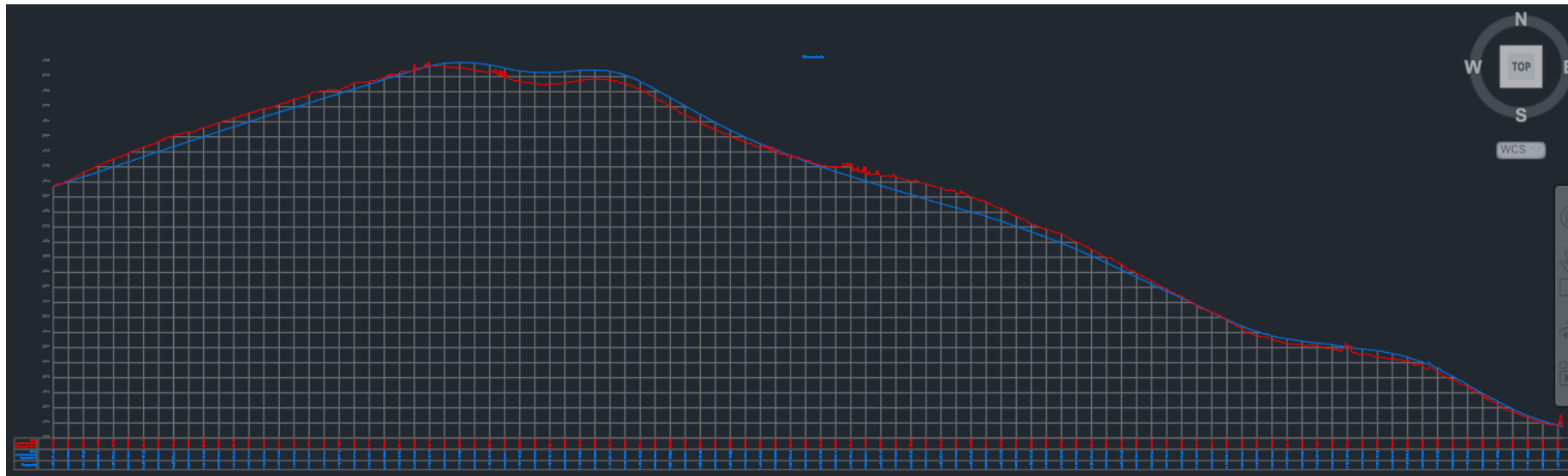


Figura N • 34: Creación de perfil longitudinal en el software Civil 3D, en el cual se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.

Nota: Elaboración propia

Como siguiente paso, se procesaron líneas de muestreo transversales a lo largo del alineamiento con una progresión de cada 20 metros, esto con el fin de crear vistas transversales en las cuales se observe más a detalle las diferencias en cuanto a elevación entre ambas superficies. Para ello se generaron dichas vistas de secciones transversales también a cada 20 metros progresivamente. A continuación, se muestran las secciones más relevantes con respecto a similitud y diferencia entre superficies en cuanto a elevación.

Sección transversal en la progresiva 0+000 (Km 96+000), se evidencia coincidencia entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico.

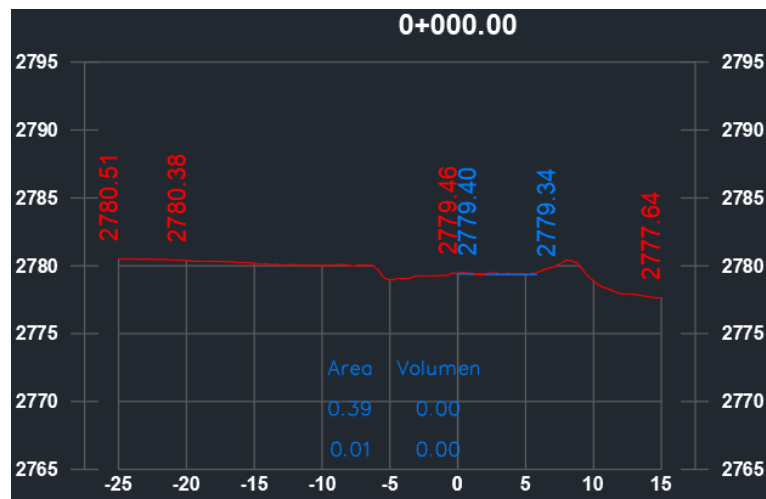


Figura N° 35 : Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.

Nota: Elaboración propia.

Sección transversal en la progresiva 0+160 (Km 96+160), el área achurada representa la diferencia de elevaciones entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico.

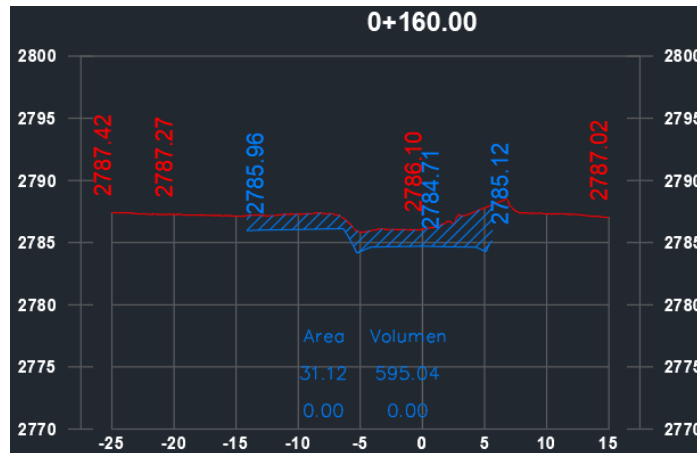


Figura N • 36: Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.

Nota: Elaboración propia.

Sección transversal en la progresiva 0+500 (Km 96+500), el área achurada representa la diferencia de elevaciones entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico.

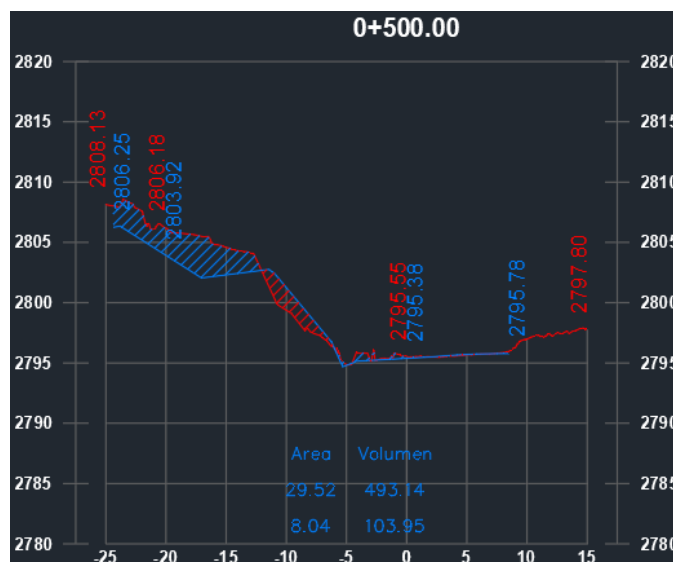


Figura N • 37 :Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.

Nota: Elaboración propia.

Sección transversal en la progresiva 0+640 (Km 96+640), el área achurada representa la diferencia de elevaciones entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico.

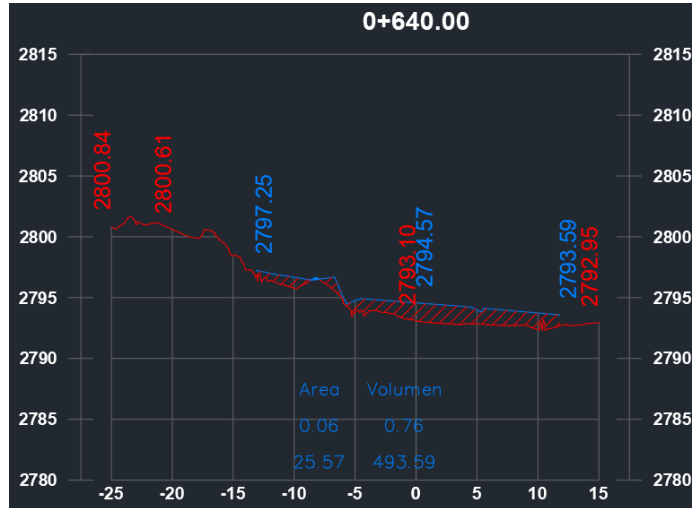


Figura N° 38: Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.

Nota: Elaboración propia.

Sección transversal en la progresiva 1+000 (Km 97+000), el área achurada representa una mínima diferencia de elevaciones entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico.

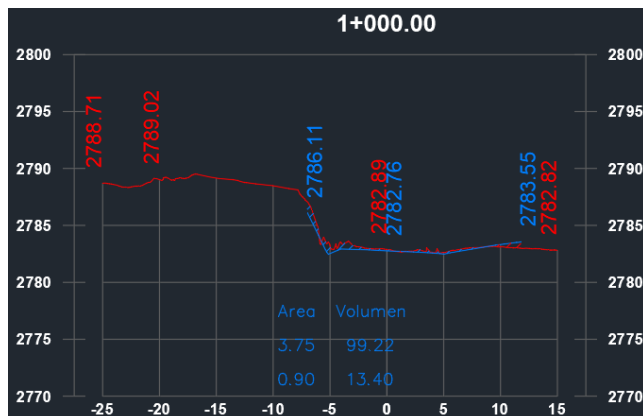


Figura N° 39: Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.

Nota: Elaboración propia.

Sección transversal en la progresiva 1+200 (Km 97+200), el área achurada representa la gran diferencia de elevaciones entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico.

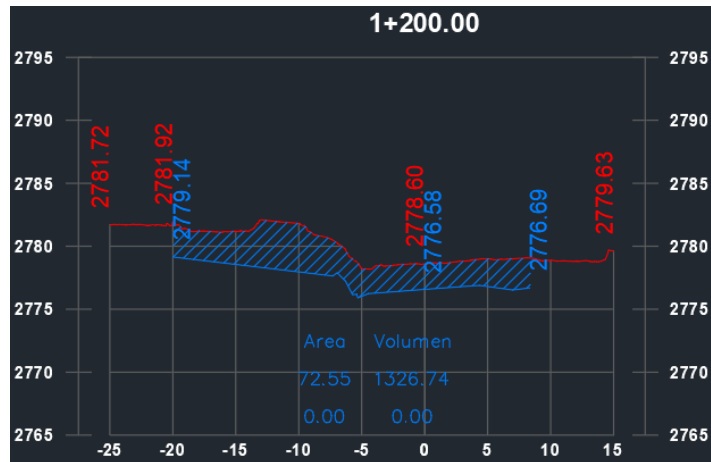


Figura N • 40: Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.

Nota: Elaboración propia.

Sección transversal en la progresiva 1+540 (Km 97+540), el área achurada representa una mínima diferencia de elevaciones entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico.



Figura N • 41: Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.

Nota: Elaboración propia.

Sección transversal en la progresiva 1+760 (Km 97+760), el área achurada representa la gran diferencia de elevaciones entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico.

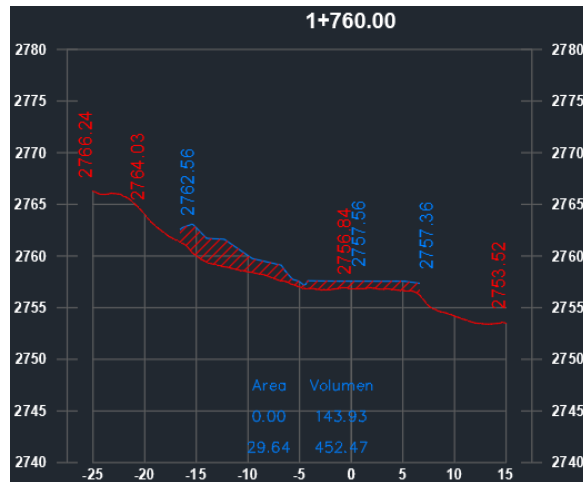


Figura N° 42: Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.

Nota: Elaboración propia.

Sección transversal en la progresiva 2+000 (Km 98+000), el área achurada representa una mínima diferencia de elevaciones entre el levantamiento topográfico y el levantamiento fotogramétrico.

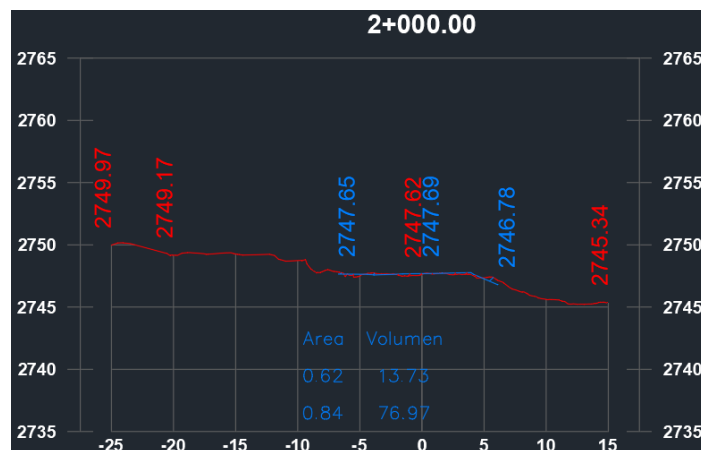


Figura N° 43: Se aprecia de color rojo la superficie del levantamiento Fotogramétrico, y de color azul la superficie del levantamiento Topográfico.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

(Tacca Qquelca, 2015), en su tesis denominada: “Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con Drones al método tradicional”, tuvo por objetivo determinar la precisión, rentabilidad y tiempo a través de tomas aerofotográficas y Estación Total, de los datos obtenidos tanto en campo como en gabinete, en la costanera Callao – Lima, realizó la recolección de datos con una Estación Total LEICA TS 02 y un dron PHANTOM 2 VISION en zonas de corte y relleno con el fin de poder aplicar el método en trabajos similares de edificación o construcción vial, encontrando como resultado: que los datos obtenidos con ambos equipos son muy similares, en referencia al costo el dron Phantom 2 Vision tiene mayor versatilidad con un 95% de confianza, el tiempo y personal que requiere es menor en comparación al método clásico. Esto mismo se puede identificar en los resultados obtenidos en nuestra investigación, en donde podemos definir que, en cuanto a tiempo, el levantamiento fotogramétrico es 25% más rápido que el levantamiento topográfico. En el costo el uso de un dron es 69% más barato, en otras palabras, el costo del levantamiento topográfico es 3.25 veces más caro que el levantamiento con Dron. Sin embargo, esto mismo no sucede en cuanto a la precisión, puesto que en nuestra investigación se ha podido concluir que el levantamiento topográfico tiene mayor similitud con la superficie real del terreno.

Una vez procesados los datos obtenidos por el levantamiento Topográfico y Fotogramétrico, se realizaron las comparaciones correspondientes tanto en gabinete como en campo para analizar a detalle las diferencias más relevantes.

Para la comparación en gabinete se procedió a superponer ambas superficies (Figura N ° 31), obteniéndose como resultado diferencias menores a dos (02) centímetros en cuanto a orientación y coordenadas Este y Norte, además se trazó el eje de la vía de acuerdo a los puntos tomados en el levantamiento topográfico, el cual coincidió perfectamente con la ortofoto exportada, obtenida con el levantamiento fotogramétrico.

Posteriormente se generó el perfil longitudinal con el alineamiento del eje de la vía, en el cual se determinaron diferencias muy pronunciadas en cuanto a elevación (Figura N^a 33), cuyas elevaciones llegaban a diferenciarse hasta en 1.50 metros en algunas progresivas, lo cual representa un error muy significativo.

Luego se generaron vistas transversales cada 20 metros para analizar las diferencias en dichas secciones (**Figura N ° 34 – Figura N ° 40**), en donde se pudo observar que las secciones guardaban similitud, sin embargo, se mantenía la diferencia de elevaciones de hasta 1.50 metros, otro punto relevante, es que el levantamiento fotogramétrico no presenta exactitud en cuanto a las secciones de las cunetas.

Para la verificación en campo, se plotearon todos estos planos generados y acudimos al lugar de estudio para las verificaciones correspondientes en donde se pudo notar que el levantamiento topográfico tenía mayor exactitud en cuanto a los puntos tomados.

Por otro lado, levantamiento fotogramétrico, si bien éste también guardaba similitud con la superficie del terreno, no tenía precisión en cuanto a zonas irregulares, es decir, suaviza la superficie de tal manera que obvia muchos detalles que podrían ser muy importantes en la toma de datos de campo.

Un detalle relevante que se pudo notar, es que ambos levantamientos coincidieron de manera efectiva en las zonas donde se ubicaron los BM`s (puntos de control), por lo

que se puede afirmar que mientras más puntos de control se consideren, el levantamiento fotogramétrico tendrá más precisión.

En la presente investigación se presentaron limitaciones, en específico relacionadas con el levantamiento fotogramétrico, a pesar de las ventajas que presenta, la utilización del dron tiene como problema de interceptación de comunicaciones (ya que, en áreas de cables eléctricos, antenas y equipos receptores dejan sin frecuencia al equipo y pueden causar daños materiales, y específicamente con un Dron modelo DJI PHANTOM 4 PRO. No podemos asegurar que obtendremos el mismo resultado si utilizamos otros equipos y en otro tipo de proyectos. Es por eso que los resultados obtenidos se ciñen estrictamente para la utilización específica de los equipos utilizados en esta investigación.

Dentro de las implicancias prácticas del presente trabajo de investigación engloban el ámbito de levantamientos fotogramétricos y topográficos en donde se analiza, desarrolla y comparan dichos levantamientos entre los kilómetros 96 y 98 del tramo PE-08B de la red vial nacional Cajamarca – Celendín, para esto se utilizaron dos equipos específicamente relevantes los cuales son un Dron DJI PHANTOM 4 PRO y una Estación Total TOPCON OS-105.

Con esto se ha podido obtener resultados importantes los cuales pueden servir para futuros estudios, para ello se han elaborado tablas comparativas en cuanto a costo (Tabla N° 03) y tiempo (Tablas N° 04 y 05), además de diversas figuras en donde se puede comprar la precisión en cuanto a coordenadas, elevación y detalle de diversos elementos que se encuentran en campo.

También podemos encontrar diagramas de flujo de los procedimientos de cada tipo de levantamiento, así como sugerencias a tener en cuenta para realizar un buen trabajo.

Con toda la información mostrada en nuestra investigación, podríamos afirmar que se puede hacer adecuado uso de estos equipos y saber específicamente para que tipo de levantamientos usarlo y con que parámetros podemos trabajar.

Conclusiones

- La finalidad de este estudio fue analizar, desarrollar y comparar un levantamiento fotogramétrico frente a un levantamiento topográfico entre los kilómetros 96 y 98 del tramo PE-08B de la red vial nacional Cajamarca – Celendín, por lo que se puede concluir en cuanto a los siguientes parámetros:
 - **Costo:** de acuerdo a la **Tabla 4**, se puede comprobar que el levantamiento fotogramétrico es menos costoso, casi en un 50%.
 - **Tiempo:** para la ejecución de ambos levantamientos se puede observar que de alguna manera hay una compensación en cuanto a los procedimientos en campo y gabinete, tal como se detalla en la **Tabla 5 y Tabla 6**, el levantamiento fotogramétrico en campo es mucho más rápido, sin embargo, el procesamiento en gabinete demanda más tiempo por la cantidad de datos procesados que se genera, sin embargo, en término general, el levantamiento fotogramétrico requiere de menos tiempo.
 - **Precisión:** como ya se mencionaba anteriormente en cuanto a coordenadas, los datos de ambos levantamientos coinciden, pero el error se presenta en las elevaciones de los puntos del levantamiento fotogramétrico con errores de hasta 1.50 metros de altura, cabe mencionar que durante la evaluación las superficies coincidían en las zonas donde se ubicaron los BM's, por lo que se puede deducir que mientras más puntos de control se coloquen, mayor precisión tendrá el levantamiento fotogramétrico, sin embargo, para este caso de estudio y con los parámetros elegidos

se puede determinar que definitivamente el levantamiento topográfico es más preciso.

- Otro aspecto importante que señalar es la mayor área de cobertura que presenta el levantamiento fotogramétrico, el cual podría servir para levantamientos de grandes extensiones de terrenos.
- Con respecto a los archivos generados por ambos levantamientos para posteriores procesamientos en diferentes áreas de la ingeniería, se pudo determinar que el levantamiento fotogramétrico genera archivos de puntos que bordean los 1,000 megabytes (1 gigabyte), esto implica la utilización de ordenadores con características de alta gama, que a su vez significa un costo significativo para la adquisición de estos.
- En conclusión, se ha logrado determinar que los levantamientos fotogramétricos carecen de exactitud en cuanto a la elevación de los puntos, es por ello no se recomienda utilizar este tipo de levantamientos en proyectos que requieran menor precisión.
- Por los resultados obtenidos en la presente investigación podemos concluir que la hipótesis planteada se descarta.

REFERENCIAS

- Agüera Vega, F., Carvajal Ramírez, F., Martínez Carricondo, P., Sánchez Herмосilla , J., Herмосilla López, J., Mesas Carrascosa, F. J., . . . Pérez Porras, F. J. (2018). Reconstruction of extreme topography from UAV structure from motion photogrammetry. *Measurement*, 127-138.
- Ayala Valdivia, M. (2018). Evaluación de levantamientos topográficos con Dron (DJI Phantom 4 pro) y Estación Total, quebrada Señor de Quinuapata del distrito de Ayacucho, Perú 2018. (*tesis de titulación, Universidad Privada de Trujillo*). Ayacucho, Perú: Repositorio Institucional UPRIT. Obtenido de <http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/66>
- Carlos Sani, J., Tierra Criollo, A. R., & Robayo Nieto, A. A. (2015). Vehículos aéreos no tripulados – UAV para la elaboración de Cartografía escalas grandes referidas al marco de referencia Sirgas-Ecuador. *Control Horizontal*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/274385188>
- González Alcaraz, P. (2010). Levantamiento mediante GPS de una red de puntos establecidos para correlacionar los distintos espacios de la universidad en el mismo sistema de coordenadas. *Levantamiento Mediante GPS*. Cartagena. Obtenido de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4651/pfc5890.pdf>
- Jiménez Alonso, F., & Serradilla García, , F. (2020). Reconstrucción del entorno del vehículo para guiado autónomo en escenarios complejos = Reconstruction of the vehicle environment for autonomous guidance in complex scenarios. *Tesis (Doctoral)*. Obtenido de <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.63384>.

- comparativo entre levantamientos topográficos con Estación Total como método directo y el uso de Drones y GPS como métodos indirectos. (*tesis de titulación, Universidad de El Salvador*). El Salvador: Repositorio Institucional UES. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20697>
- Pachas Linares, R. (2009). El Levantamiento Topográfico: Uso De Gps Y Estación Total. Trujillo, Venezuela: Universidad de Los Andes (ULA). Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/30397/articulo3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Parra Lavado, R. R. (2019). Modelo analítico de los parámetros para la fotogrametría con Drones en obras viales. [*tesis de maestría, Universidad Peruana de los Andes*]. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3882>
- Quispe Enriquez, O. C. (2016). Propuesta metodológica para la generación de ortofotomapas desde imágenes aéreas obtenidas con microdron – multirrotor, área de estudio: playas distrito de Barranco, Lima-Perú. (*tesis para optar Título Profesional de Ingeniero Geográfico*). Lima, Perú: Repositorio de Tesis Digitales UNMSM. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/5199>
- Sánchez Torres, J., Peña Juarez, M., & Lopez Granados, L. (2013). Weed mapping in early-season maize fields using objet-based analysis of unmaned aerial vehicle (UAV) images. *Plos One*, 100-1337. doi:10.1371/journal.pone.0077151
- Sánchez Vargas, , I. J. (2017). Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento topográfico con dron en la Plaza San Luis - 2017. [*tesis de titulación, Universidad César Vallejo*]. Nuevo Chimbote, Perú: Repositorio de la Universidad César Vallejo . Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/12246>
- Sedano Mateo, F. D., & Pari Rendon, R. W. (2019). Ventajas en los levantamientos

topográficos con el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV). (*tesis de bachiller, Universidad Privada del Norte*). Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/21067>

Tacca Quelca, H. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con Drones al método tradicional. (*tesis de titulación, Universidad Nacional del Altiplano*). Puno, Perú: Repositorio de la Universidad del Antiplano.

ANEXOS

Panel fotográfico



Figura N • 41: monumentación de puntos de control.

Nota: Elaboración propia.



Figura N • 42: Punto de control “BM – 07”.

Nota: Elaboración propia.



Figura N° 43: Punto de control “BM – 07”.

Nota: Elaboración propia.



Figura N° 44: Equipo, Dron DJI Phantom 4 pro listo para usar

Nota: Elaboración propia.



Figura N° 45: Inicio de vuelo.

Nota: Elaboración propia.



Figura N° 46: Fin del vuelo.

Nota: Elaboración propia.



Figura N° 47: Inicio de levantamiento topográfico con Estación

Total TOPCON OS 105.

Nota: Elaboración propia.



Figura N° 47: Levantamiento topográfico en Km 97+160 con

Estación Total TOPCON OS 105.

Nota: Elaboración propia.



*Figura N • 48: Recolección de dato en Estación Total TOPCON
OS 105*

Nota: Elaboración propia.

Especificaciones técnicas del Dron DJI Phantom 4 pro

PHANTOM 4 PRO Especificaciones

Casa / Productos / Phantom 4 Pro / Especificaciones

Aeronave

Peso (batería y hélices incluidas)	1388 g
Tamaño diagonal (hélices excluidas)	350 mm
Velocidad máxima de ascenso	Modo S: 6 m / s Modo P: 5 m / s
Velocidad máxima de descenso	Modo S: 4 m / s Modo P: 3 m / s
Máxima velocidad	Modo S: 72 kph (45 mph) Modo A: 58 kph (36 mph) Modo P: 50 kph (31 mph)
Ángulo de inclinación máximo	Modo S: 42 ° Modo A: 35 ° Modo P: 25 °
Velocidad angular máxima	Modo S: 250 ° / s Modo A: 150 ° / s
Techo de servicio máximo sobre el nivel del mar	19685 pies (6000 m)
Resistencia máxima a la velocidad del viento	10 m / s
Tiempo máximo de vuelo	Aprox. 30 minutos
Rango de temperatura de funcionamiento	32 ° a 104 ° F (0 ° a 40 ° C)
Sistemas de posicionamiento por satélite	GPS / GLONASS
Rango de precisión de desplazamiento	Vertical: ± 0,1 m (con posicionamiento visual) ± 0,5 m (con posicionamiento GPS) Horizontal: ± 0,3 m (con posicionamiento visual) ± 1,5 m (con posicionamiento GPS)

Sistema de visión

Sistema de visión	Sistema de visión hacia adelante Sistema de visión hacia atrás Sistema de visión h. abajo
Rango de velocidad	≤31 mph (50 kph) a 6,6 pies (2 m) sobre el suelo
Rango de altitud	0 - 33 pies (0 - 10 m)
Rango de operación	0 - 33 pies (0 - 10 m)
Rango sensorial de obstáculos	2 - 98 pies (0,7 - 30 m)
FOV	Hacia adelante: 60 ° (horizontal), ± 27 ° (vertical) Hacia atrás: 60 ° (horizontal), ± 27 ° (vertical) Hacia abajo: 70 ° (delantera y trasera), 50 ° (izquierda y derecha)
Frecuencia de medición	Adelante: 10 Hz Atrás: 10 Hz Abajo: 20 Hz
Entorno operativo	Superficie con patrón claro e iluminación adecuada (lux > 15)

Cámara

Sensor	CMOS de 1 " Píxeles efectivos: 20M
Lente	FOV 84 ° 8,8 mm / 24 mm (equivalente al formato de 35 mm) f / 2
Rango ISO	Vídeo: 100 - 3200 (automático) 100 - 6400 (manual) Foto: 100 - 3200 (automático) 100-12800 (manual)

Figura N° 49: Especificaciones técnicas Dron DJI Phantom 4 PRO.

Nota: Según nuevo estudio (DJI, s. f.)

Especificaciones técnicas Estación Total TOPCON OS-105

ESPECIFICACIONES TECNICAS:

MEDICION DE ANGULOS

- Precisión : 5”
- Resolución Mínima : 1”/5”
- IACS : Sistema de Calibración Autónomo de Angulo
- Compensación : Compensador de Doble Eje

MEDICION DE DISTANCIA

Rango Medición 01 Prisma EDM: 4000m
Precisión Medición Prisma EDM: 2mm+2ppm
Rango Medición Sin Prisma : 500m
Precisión Medición Sin Prisma : 3mm+2ppm(0.3-200m)
Tiempo de Medición: Fino: 0.9 segundos
Rápido: 0.7 segundos
Tracking: 0.3 segundos

COMUNICACIÓN

Comunicación LongLink´rover utilizando Bluetooth – Clase 1.
USB : 2.0 Slot(Host+Slave)
RS-232C : Serial

GENERAL

Pantalla / Teclado : Una, LCD, Windows Touchscreen / Alfanumerico
Duración Batería : Mas de 18 horas
Protección contra polvo/agua : IP65
Conexión Wireless : Bluetooth – Clase 1
Rango Operación : -30C° a +60C°

Figura N° 50: Especificaciones técnicas Estación Total TOPCON OS-105.

Nota: Según nuevo estudio (TOPCON OS-105, s. f.)

Informe de procesamiento, software Agisoft metashape.

Agisoft Metashape

Informe de procesamiento
08 November 2021



Datos del levantamiento

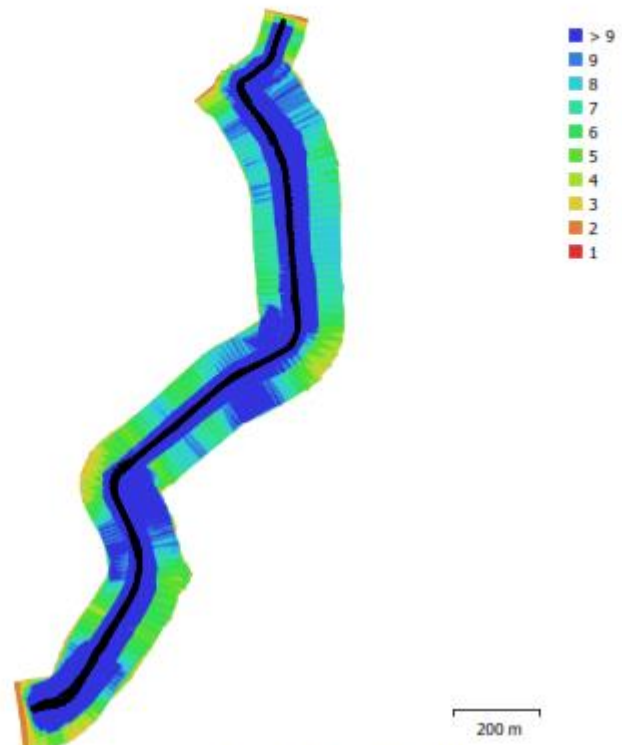


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	819	Imágenes alineadas:	819
Altitud media de vuelo:	63 m	Puntos de paso:	941,026
Resolución en terreno:	1.43 cm/pix	Proyecciones:	3,165,695
Área cubierta:	0.371 km ²	Error de reproyección:	0.416 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

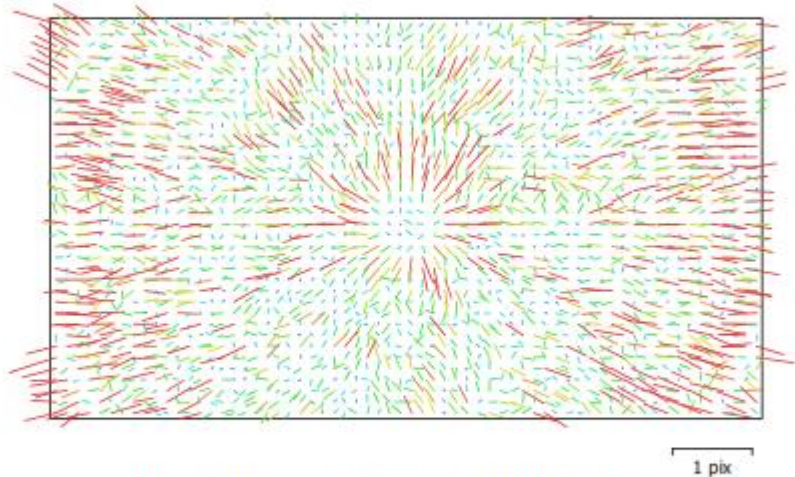


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

85 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
5472 x 3078

Distancia focal
8.8 mm

Tamaño de píxel
2.53 x 2.53 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4156.13	1.9	1.00	0.07	0.37	0.20	-0.24	0.35	0.37	-0.16
Cx	33.1339	0.062		1.00	0.05	-0.02	0.00	0.01	0.54	-0.02
Cy	-0.853715	0.057			1.00	0.07	-0.09	0.13	0.17	0.26
K1	0.0132902	5.5e-05				1.00	-0.91	0.84	0.05	-0.01
K2	-0.0267974	0.0002					1.00	-0.98	-0.07	0.02
K3	0.0330221	0.00026						1.00	0.12	-0.05
P1	0.00270321	3.5e-06							1.00	-0.08
P2	-0.00087696	2.7e-06								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

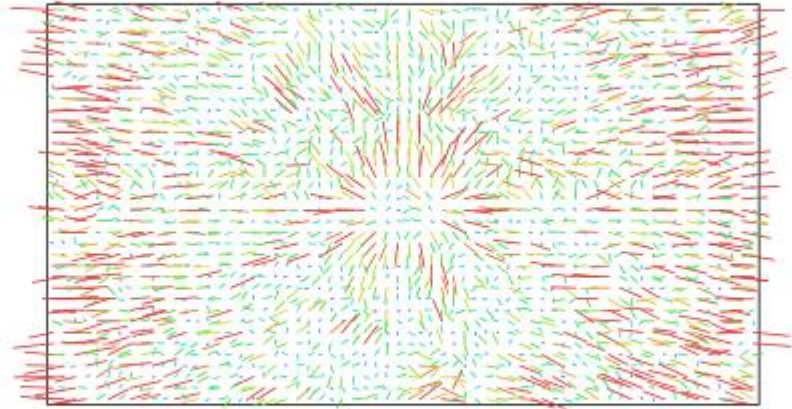


Fig. 3. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

85 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
5472 x 3078

Distancia focal
8.8 mm

Tamaño de píxel
2.53 x 2.53 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4170.02	1.9	1.00	0.13	0.46	0.17	-0.19	0.29	0.26	-0.07
Cx	31.4808	0.069		1.00	0.01	0.08	-0.08	0.08	0.67	-0.02
Cy	3.02866	0.067			1.00	0.08	-0.09	0.13	0.08	0.56
K1	0.0127425	5.6e-05				1.00	-0.94	0.87	0.11	-0.00
K2	-0.0255444	0.00022					1.00	-0.98	-0.11	0.01
K3	0.0316228	0.00028						1.00	0.14	-0.02
P1	0.00249374	4.2e-06							1.00	-0.04
P2	-0.000938627	4.1e-06								1.00

Tabla 3. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

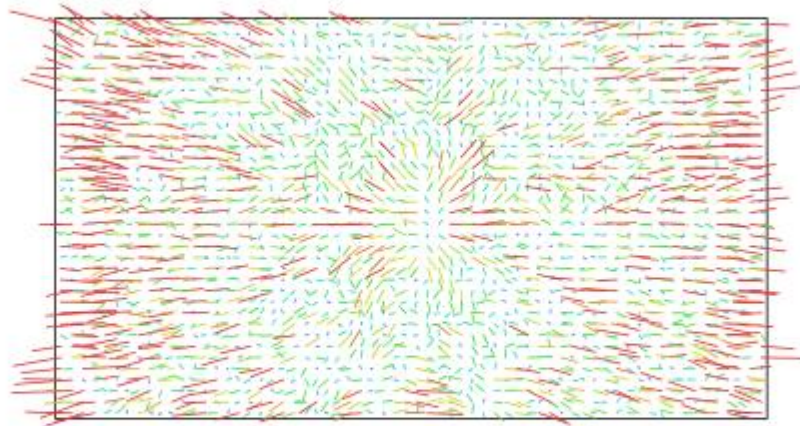


Fig. 4. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)
85 imágenes

Tipo **Cuadro** Resolución **5472 x 3078** Distancia focal **8.8 mm** Tamaño de píxel **2.53 x 2.53 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4185.51	1.9	1.00	0.18	0.33	0.10	-0.11	0.18	0.25	-0.08
Cx	36.4889	0.085		1.00	0.13	0.01	-0.01	0.03	0.67	0.02
Cy	0.948298	0.082			1.00	0.04	-0.03	0.06	0.08	0.64
K1	0.00960487	6.3e-05				1.00	-0.94	0.87	0.04	0.00
K2	-0.0178542	0.00026					1.00	-0.98	-0.06	0.01
K3	0.0230755	0.00032						1.00	0.08	-0.01
P1	0.00290849	5.4e-06							1.00	-0.03
P2	-0.00107561	6.2e-06								1.00

Tabla 4. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

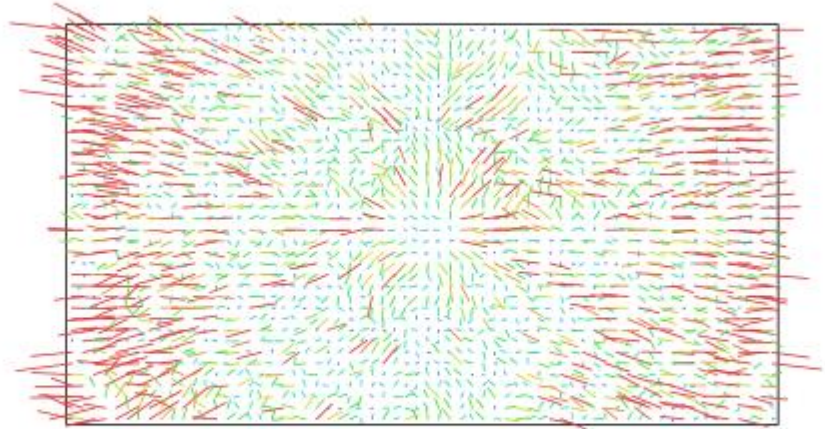


Fig. 5. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

85 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
5472 x 3078

Distancia focal
8.8 mm

Tamaño de píxel
2.53 x 2.53 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4187.13	1.9	1.00	0.12	0.26	0.17	-0.19	0.28	0.27	-0.07
Cx	33.6181	0.12		1.00	0.08	-0.02	0.01	0.01	0.51	-0.01
Cy	-0.07024	0.11			1.00	0.05	-0.05	0.07	0.04	0.46
K1	0.0122768	5.8e-05				1.00	-0.94	0.87	-0.01	0.00
K2	-0.0260892	0.00024					1.00	-0.98	-0.02	0.00
K3	0.0327638	0.00031						1.00	0.05	-0.01
P1	0.00264231	4.7e-06							1.00	-0.09
P2	-0.00111566	6.4e-06								1.00

Tabla 5. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

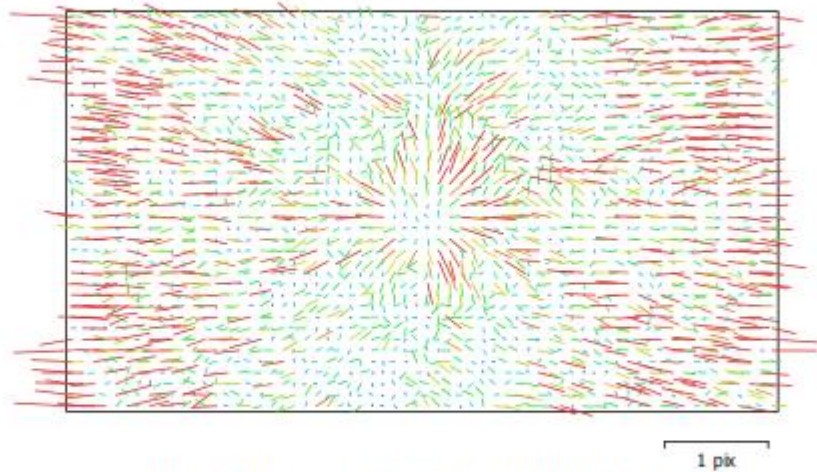


Fig. 6. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

80 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
5472 x 3078

Distancia focal
8.8 mm

Tamaño de píxel
2.53 x 2.53 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4178.72	1.9	1.00	0.13	0.15	0.15	-0.15	0.24	0.27	-0.06
Cx	34.5518	0.14		1.00	0.04	-0.00	-0.03	0.04	0.41	0.01
Cy	-4.06253	0.14			1.00	0.03	-0.03	0.04	-0.04	0.39
K1	0.0109864	6e-05				1.00	-0.95	0.88	0.05	0.01
K2	-0.0211511	0.00024					1.00	-0.98	-0.08	-0.01
K3	0.0265669	0.0003						1.00	0.10	0.00
P1	0.00276914	4.9e-06							1.00	-0.10
P2	-0.00113558	6.7e-06								1.00

Tabla 6. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

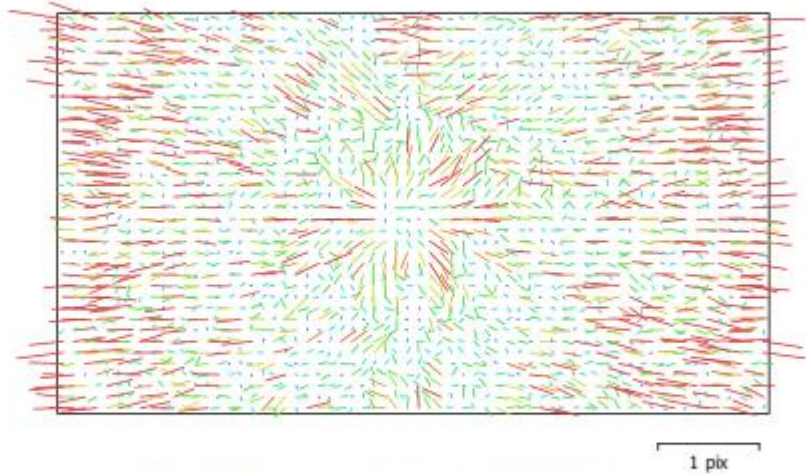


Fig. 7. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

80 imágenes

Tipo **Cuadro** Resolución **5472 x 3078** Distancia focal **8.8 mm** Tamaño de píxel **2.53 x 2.53 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4183.14	2	1.00	0.12	0.12	0.18	-0.17	0.26	0.28	-0.08
Cx	34.2294	0.11		1.00	0.05	-0.00	-0.02	0.04	0.54	0.03
Cy	-2.17842	0.11			1.00	0.03	-0.02	0.03	0.02	0.53
K1	0.0115267	6e-05				1.00	-0.95	0.88	0.03	-0.01
K2	-0.0220032	0.00024					1.00	-0.98	-0.06	0.02
K3	0.0276178	0.0003						1.00	0.10	-0.02
P1	0.00289948	4.9e-06							1.00	-0.05
P2	-0.00114337	6.8e-06								1.00

Tabla 7. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

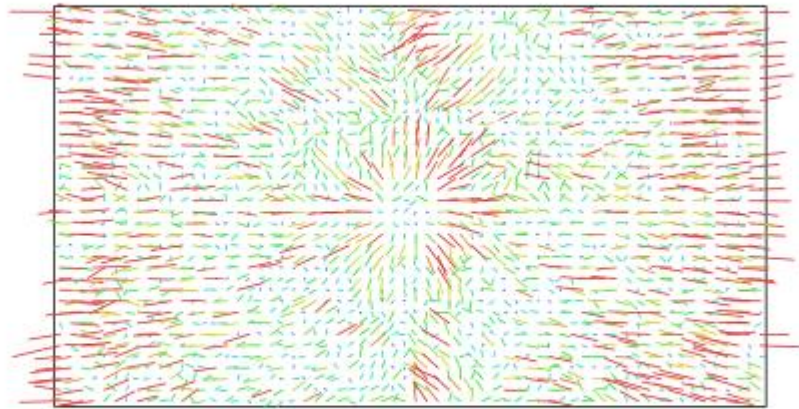


Fig. 8. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)
80 imágenes

Tipo **Cuadro** Resolución **5472 x 3078** Distancia focal **8.8 mm** Tamaño de píxel **2.53 x 2.53 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4187.21	2	1.00	0.13	0.30	0.19	-0.20	0.30	0.30	-0.06
Cx	36.6454	0.1		1.00	0.06	0.03	-0.04	0.05	0.57	-0.01
Cy	2.21805	0.11			1.00	0.06	-0.06	0.09	0.10	0.55
K1	0.0126433	6e-05				1.00	-0.95	0.88	0.09	0.01
K2	-0.0263776	0.00024					1.00	-0.98	-0.10	0.00
K3	0.0324301	0.0003						1.00	0.14	-0.01
P1	0.00305497	4.9e-06							1.00	-0.01
P2	-0.00103617	6.4e-06								1.00

Tabla 8. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

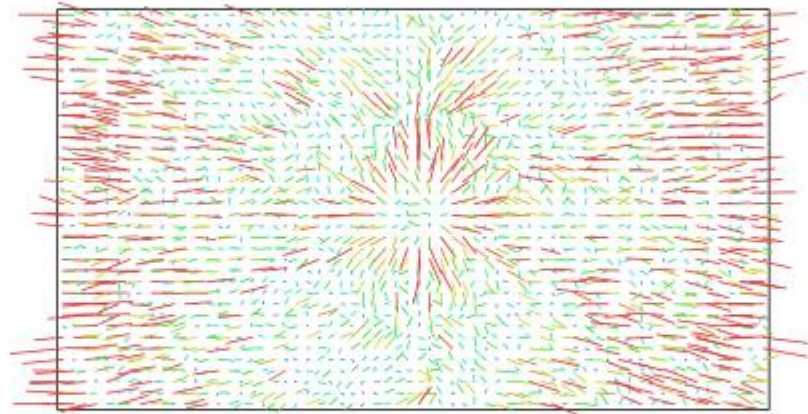


Fig. 9. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm). 1 pix

FC6310 (8.8mm)
80 imágenes

Tipo **Cuadro** Resolución **5472 x 3078** Distancia focal **8.8 mm** Tamaño de píxel **2.53 x 2.53 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4187.77	2	1.00	0.14	0.32	0.19	-0.18	0.27	0.26	-0.05
Cx	34.0592	0.093		1.00	-0.02	0.01	-0.01	0.03	0.62	-0.04
Cy	2.02735	0.097			1.00	0.07	-0.07	0.09	0.02	0.61
K1	0.0116137	6e-05				1.00	-0.94	0.88	0.05	0.01
K2	-0.0232381	0.00024					1.00	-0.98	-0.06	-0.01
K3	0.028747	0.0003						1.00	0.09	-0.01
P1	0.00266175	4.9e-06							1.00	-0.07
P2	-0.0010219	6.4e-06								1.00

Tabla 9. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

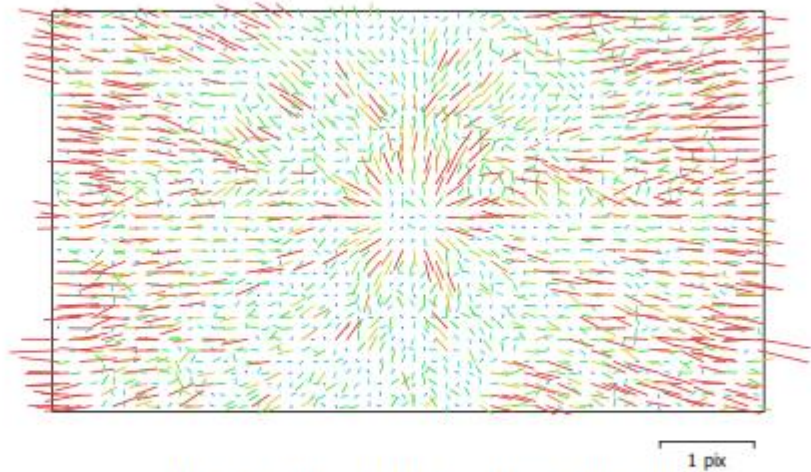


Fig. 10. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

80 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
5472 x 3078

Distancia focal
8.8 mm

Tamaño de píxel
2.53 x 2.53 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4186.65	2.1	1.00	0.24	0.32	0.21	-0.22	0.32	0.26	-0.10
Cx	35.2775	0.078		1.00	0.07	0.06	-0.07	0.09	0.71	-0.02
Cy	0.247874	0.068			1.00	0.08	-0.08	0.11	0.06	0.64
K1	0.0127895	6.6e-05				1.00	-0.94	0.86	0.08	-0.01
K2	-0.0313447	0.00027					1.00	-0.98	-0.08	0.01
K3	0.0377458	0.00035						1.00	0.11	-0.02
P1	0.00264167	5.1e-06							1.00	-0.06
P2	-0.000955788	5.8e-06								1.00

Tabla 10. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

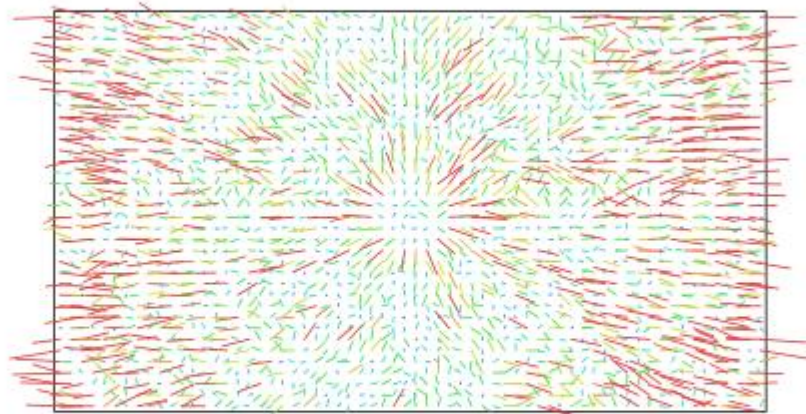


Fig. 11. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

79 imágenes

Tipo **Cuadro** Resolución **5472 x 3078** Distancia focal **8.8 mm** Tamaño de píxel **2.53 x 2.53 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4188.33	2.1	1.00	0.30	0.28	0.18	-0.18	0.26	0.24	-0.07
Cx	38.2092	0.088		1.00	0.11	0.05	-0.07	0.10	0.73	-0.02
Cy	1.28592	0.09			1.00	0.04	-0.04	0.07	-0.04	0.69
K1	0.01138	7.4e-05				1.00	-0.92	0.85	0.08	-0.01
K2	-0.0251176	0.00028					1.00	-0.98	-0.09	0.02
K3	0.0307415	0.00035						1.00	0.12	-0.02
P1	0.00274543	5.5e-06							1.00	-0.11
P2	-0.000966264	6.1e-06								1.00

Tabla 11. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

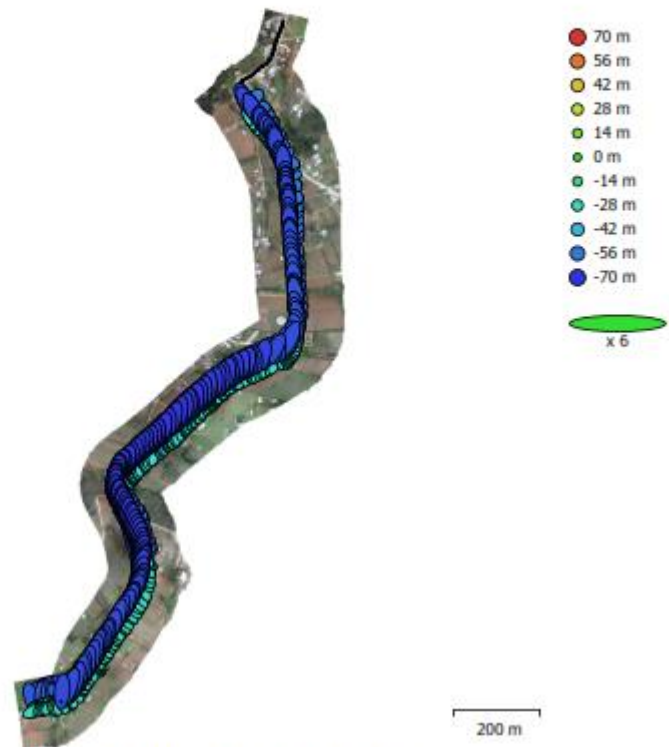


Fig. 12. Posiciones de cámaras y estimadores de error.

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

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
2.20534	5.80086	49.7294	6.20592	50.1151

Tabla 12. Errores medios de las posiciones de cámaras.

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

Orientaciones de cámaras

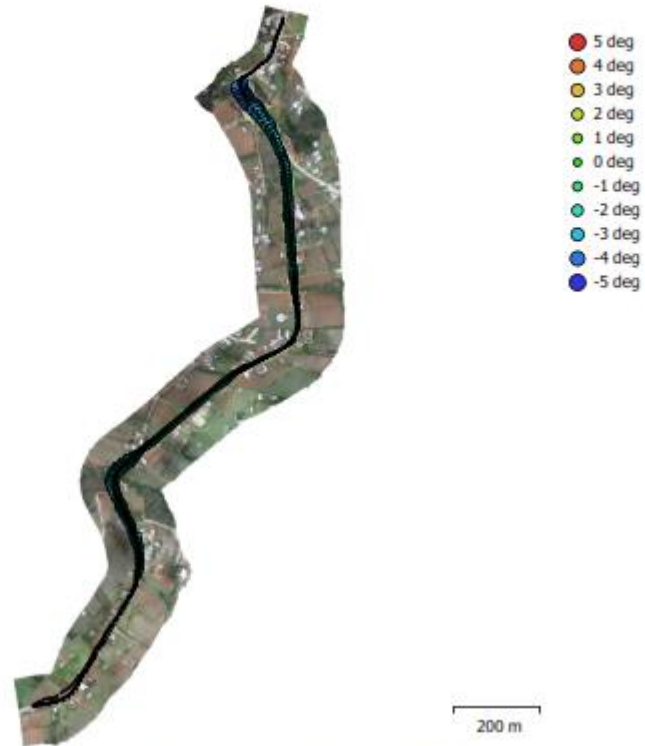


Fig. 13. Orientaciones de cámaras y estimaciones de errores.
Los arcos representan estimaciones de error en guiñada.

Error en guiñada (deg)	Error de Cabeceo (deg)	Error de alabeo (deg)	Error combinado (deg)
1.8978	0.643409	0.881978	2.18941

Tabla 13. Errores medios de las rotaciones de cámaras.

Puntos de control terrestre



Fig. 14. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
10	4.22853	3.01001	2.3536	5.19043	5.69912

Tabla 14. ECM de puntos de apoyo.

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

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
1	-1.61623	-4.44501	-0.092851	4.73064	0.793 (7)
2	-0.882913	6.18069	0.224209	6.24746	1.539 (10)
3	0.475882	-5.05257	5.37421	7.39168	2.106 (17)
4	7.49486	0.854106	-4.90861	8.99983	1.388 (21)
5	-1.43195	2.00282	-0.259746	2.47573	1.000 (10)
6	-8.12376	1.02971	0.407849	8.19891	1.063 (15)
7	5.56106	-0.957051	-0.922404	5.71771	1.118 (7)
8	-0.195047	0.0807103	1.11537	1.13517	1.688 (4)
9	2.45635	0.542535	0.113257	2.5181	0.903 (4)
10	-3.73765	-0.310218	-0.131449	3.7528	1.612 (3)
Total	4.22853	3.01001	2.3536	5.69912	1.436

Tabla 15. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

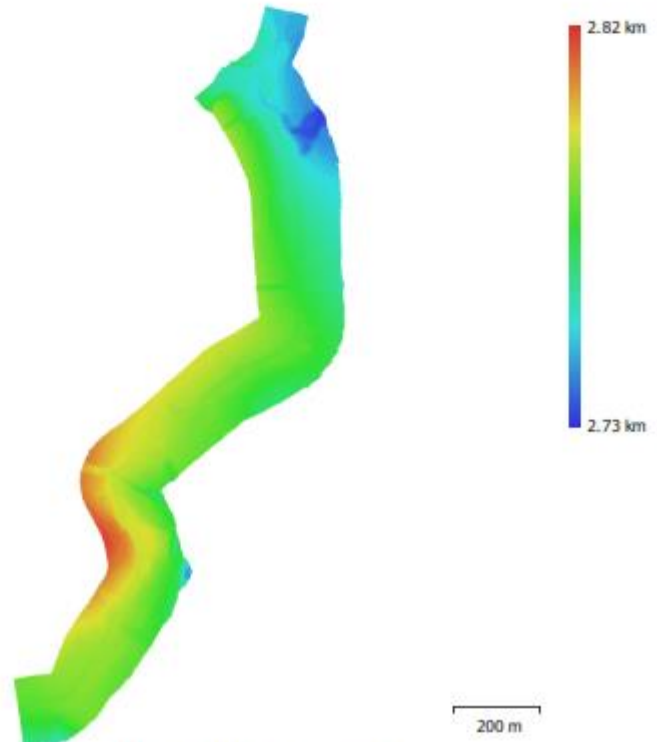


Fig. 15. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 5.74 cm/pix
Densidad de puntos: 304 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	819
Cámaras orientadas	819
Marcadores	10

Formas

Políneas	183
Polígonos	8751
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	941,026 de 986,178
RMS error de reproyección	0.225641 (0.415918 pix)
Error de reproyección máximo	1.00986 (29.0929 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	1.87748 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	3.47133

Parámetros de orientación

Precisión	Máxima
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamientos	1 hora 34 minutos
Uso de memoria durante el emparejamiento	238.65 MB
Tiempo de orientación	29 minutos 45 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	323.29 MB

Parámetros de optimización

Parámetros	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	1 minuto 8 segundos
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	76.70 MB

Mapas de profundidad

Número	819
--------	-----

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Mínima
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	23 minutos 34 segundos
Uso de memoria	359.93 MB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	81.18 MB

Nube de puntos densa

Puntos	8,166,647
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Mínima
Nivel de filtrado	Leve

Tiempo de procesamiento	23 minutos 34 segundos
Uso de memoria	359.93 MB
Parámetros de generación de la nube densa	
Tiempo de procesamiento	6 minutos 26 segundos
Uso de memoria	1.08 GB
Parámetros de clasificación de puntos de terreno	
Ángulo máximo (deg)	15
Distancia máxima (m)	1
Tamaño de célula (m)	50
Tiempo de clasificación	38 segundos
Uso de memoria durante la clasificación	310.19 MB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	107.29 MB
MDE	
Tamaño	23,641 x 41,016
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	9 minutos 18 segundos
Uso de memoria	364.24 MB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	367.58 MB
Ortomosaico	
Tamaño	15,442 x 34,521
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Tiempo de procesamiento	10 minutos 9 segundos
Uso de memoria	1.84 GB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	2.47 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	1.6.5 build 11249
OS	Windows 64 bit
RAM	11.91 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-2670QM CPU @ 2.20GHz
GPU(s)	GeForce GTX 560M

Planos.