

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO Y ESTACIÓN
TOTAL EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA DE EVITAMIENTO
PROGRESIVA 0+000 AL 3+837.26 KM – OTUZCO, LA LIBERTAD, PERÚ 2021”**

ÁREA DE INVESTIGACIÓN:
TRANSPORTES

AUTORES:

BR. BEJARANO VELÁSQUEZ, JOSÉ DIEGO
BR. PALOMINO CEDEÑO, JUAN FERNANDO

JURADO EVALUADOR:

PRESIDENTE: ING. RODRIGUEZ RAMOS, MAMERTO

SECRETARIO: DR. ING. LUJAN SILVA, ENRIQUE

VOCAL: ING. GALICIA GUARNIZ, WILLIAM

ASESOR:

MS. ING. BURGOS SARMIENTO, TITO ALFREDO

Código Orcid:

0000-0003-2143-1566

TRUJILLO – PERÚ

2022

Fecha de sustentación: 2022/04/09

DEDICATORIA

Esta Tesis está dedicada a la memoria de mi abuelita Santos Taboada, que quien en vida con la sabiduría de Dios me has enseñado a ser quien soy hoy. Gracias por tu paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por tus consejos, por el amor que me has dado y por tu apoyo incondicional en mi vida. Gracias por llevarme en tus oraciones porque estoy seguro de que siempre lo haces.

A mi Madre Carmen Velásquez, por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, gracias por estar siempre conmigo en todo momento. Gracias por la paciencia que has tenido para enseñarme, por el amor que me das, por tus cuidados que me das, por los regaños que me merecía y que no entendía. Gracias Mamá por estar al pendiente durante toda esta etapa.

A mi Tía Liliana y mi Hermano José por estar conmigo y apoyarme hasta donde pudieron, gracias por compartir sus vidas a mi lado. Pero sobre todo gracias por estar en otro momento tan importante en mi vida.

José Diego Bejarano Velásquez

DEDICATORIA

Esta Tesis está dedicada a la memoria de mi amada Jessica Valverde Quezada, por su amor, bondad y sacrificio que me inspiró a ser mejor y no rendirme, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti, gracias por haber estado a mi lado y siempre haber confiado en mí.

A mi Madre Lidia y a mi Padre Juan, por su amor, consejos y soporte incondicional, porque nunca perdieron la esperanza en mí, la cual me sirvió como motivación para poder culminar con mis estudios profesionales.

A mis tías Biky y Lupe, que siempre estuvieron conmigo, proporcionándome su apoyo en el transcurso de mi vida y de mi carrera profesional, y a mis hermanas Carolina y Claudia por la paciencia, amor y motivación que me brindan.

Juan Fernando Palomino Cedeño

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradecemos a Dios por ser nuestro guía y acompañarnos en el transcurso de nuestras vidas, brindándonos paciencia y sabiduría para culminar con éxito nuestras metas propuestas.

Agradecemos a nuestro asesor de tesis Mg. Ing. Tito Burgos quien, con su experiencia, conocimiento y motivación nos orientó en la investigación. Al Mg. Ing. Jorge Vega y por sus consejos, enseñanzas, apoyo y sobre todo amistad brindada en los momentos difíciles de la carrera.

Agradezco a los todos docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarnos como personas y profesionales en la Universidad Privada Antenor Orrego.

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en el distrito de Otuzco, provincia de Otuzco, que tuvo por objetivo principal determinar el análisis comparativo del levantamiento fotogramétrico con dron Phantom 4 RTK marca DJI y levantamiento con estación total Nikon 632 en el diseño geométrico de la carretera de evitamiento Km 0+000.00 y Km 3+837.26 – Otuzco, La Libertad.

La tesis es de tipo no experimental y descriptivo, recolectando los datos bajo la técnica de la observación. El trabajo en campo fue considerado desde el reconocimiento del terreno, seguido por la planificación del trabajo para cada metodología, la aplicación y uso del equipo seleccionado y el procesamiento en gabinete de la información recolectada.

Con el dron se obtuvo un tiempo para el reconocimiento del terreno de 2.9 horas, 0.4 horas para la planificación del vuelo, 1 hora para los vuelos y 20 horas del procesamiento en gabinete, obteniéndose un total de 24.2 horas. Para el caso de la estación total, 18.4 horas demoraron los trabajos de campos y 23.8 horas el trabajo en gabinete, con un total de 48.2 horas. Se determinó un costo total de 62,117.57 para el trabajo con estación total y 123,828.16 soles para el trabajo con dron. Se observó un error relativamente mayor en el trabajo con dron, siendo este más acentuado en la precisión horizontal.

Para el caso de este trabajo, se recomienda el uso del dron Phantom 4 RTK marca DJI ya que, si bien el costo es mayor, se reducen los tiempos hasta en un 57.35% con respecto a la estación total.

Palabras claves: Dron, estación total, topográfico, fotogrametría.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the district of Otuzco, province of Otuzco, with the main objective of determining the comparative analysis of the photogrammetric survey with a DJI Phantom 4 RTK drone and a survey with a Nikon 632 total station in the geometric design of the avoidance road Km 0+000.00 and Km 3+837.26 - Otuzco, La Libertad.

The thesis is non-experimental and descriptive, collecting data under the observation technique. The field work was considered from the field reconnaissance, followed by the planning of the work for each methodology, the application and use of the selected equipment and the office processing of the collected information.

With the drone, the time for terrain reconnaissance was 2.9 hours, 0.4 hours for flight planning, 1 hour for the flights and 20 hours for office processing, for a total of 24.2 hours. In the case of the total station, 18.4 hours were spent in the field and 23.8 hours in the office, for a total of 48.2 hours. A total cost of 62,117.57 soles for the total station work and 123,828.16 soles for the drone work was determined. A relatively greater error was observed in the work with drone, being this more accentuated in the horizontal precision.

For the case of this work, the use of the DJI Phantom 4 RTK drone is recommended because, although the cost is higher, the times are reduced by up to 57.35% with respect to the total station.

Keywords: Drone, total station, topographic, photogrammetry.

PRESENTACIÓN

Sres. miembros del jurado:

Cumpliendo con lo establecido en el reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, se presenta el trabajo **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO Y ESTACIÓN TOTAL EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA DE EVITAMIENTO PROGRESIVA 0+000 AL 3+837.26 KM – OTUZCO, LA LIBERTAD, PERÚ 2021”**, teniendo como propósito la obtención del título profesional de Ingeniero Civil.

La ejecución de este trabajo, se basa en la necesidad de difundir las nuevas tecnologías para trabajos topográficos de calidad que exigen los proyectos de inversión en nuestra región. Para ello, tomando como zona de estudio la carretera de evitamiento de Otuzco, se aplicaron el levantamiento con estación total y, posteriormente, con equipo fotogramétrico para evaluar precisión, costos y tiempos de aplicación; de esta manera evidenciar las ventajas y desventajas de las nuevas tecnologías.

Con la difusión de las nuevas tecnologías se pretende generar el mayor uso de estas teniendo como fundamento un documento que permita tener el criterio suficiente para su selección. Finalmente, de esta manera, mejorar la calidad de los proyectos de inversión contribuyendo al desarrollo integral de la población.

Atentamente

Br. Bejarano Velásquez, José Diego

Br. Palomino Cedeño, Juan Fernando

Trujillo, Abril de 2022

ÍNDICE

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
PRESENTACIÓN.....	vi
ÍNDICE.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	1
a) Descripción de la realidad problemática	1
b) Formulación del problema.....	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación del estudio	4
II. MARCO DE REFERENCIA.....	5
2.1. Antecedentes del estudio	5
2.1.1. Internacionales	5
2.1.2. Nacionales	6
2.2. Marco teórico	8
2.2.1. Levantamiento fotogramétrico	8
2.2.2. Levantamiento con estación total	20
2.3. Marco conceptual.....	30
2.3.1. Topografía.....	30
2.3.2. Levantamiento topográfico	31
2.3.3. Sistemas de coordenadas	31
2.3.4. Fotogrametría.....	31
2.2.6. Vehículos aéreos no tripulados (UAV)	32
2.2.7. Cámaras métricas	32
2.2.8. Estación Total	32
2.2.9. Confiabilidad	33
2.2.10. Exactitud.....	33
2.2.11. Precisión.....	33
2.2.12. Tolerancias	33
2.4. Sistema de hipótesis.....	34

2.5. Variables.....	35
III. Metodología empleada.....	36
3.1. Tipo y nivel de investigación	36
3.1.1. Tipo de investigación.....	36
3.1.2. Nivel de investigación.....	36
3.2. Población y muestra de estudio	36
3.3. Diseño de investigación.....	36
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación	36
3.4.1. Técnica.....	36
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.....	37
3.5. Procesamiento y análisis de datos	37
4. Presentación de resultados	39
4.1. Ubicación del proyecto.....	39
4.1.1. Ubicación política y geográfica.....	39
4.1.2. Extensión y altitud	40
4.1.3. Límites y accesos	40
4.1.4. Área.....	41
4.1.5. Clima.....	41
4.1.6. Fauna.....	41
4.1.7. Flora.....	41
4.1.8. Agua.....	41
4.1.9. Características del terreno	42
4.1.10. Vías de acceso.....	42
4.2. Realizar el levantamiento topográfico fotogramétrico y con estación total de la vía de evitamiento Otuzco.....	43
4.2.2. Levantamiento con estación total	47
4.3. Calcular el tiempo empleado para el levantamiento topográfico fotogramétrico y levantamiento topográfico con estación total la vía de evitamiento Otuzco	50
4.4. Determinar los costos para el levantamiento topográfico fotogramétrico y levantamiento topográfico con estación total de la vía de evitamiento Otuzco	52
4.5. Determinar la precisión de los levantamientos topográficos fotogramétrico y tradicional	54
4.6. Determinar el método topográfico más óptimo para el diseño geométrico de la carretera de evitamiento progresiva 0+000.00 al 3+837.26 km – Otuzco, La Libertad.....	55
4. Discusión de los resultados.....	55
CONCLUSIONES	58

RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tolerancias en trabajos topográficos.....	34
Tabla 2 Cuadro de operacionalización de variables	35
Tabla 3 Reconocimiento por tramos de la vía de evitamiento	43
Tabla 4 Tramos de vuelo	44
Tabla 5 Red geodésica puntos FCP.....	46
Tabla 6 Coordenadas de poligonal de apoyo	46
Tabla 7 Descripción de cada vuelo	47
Tabla 8 Cuadro de coordenadas de la red poligonal	49
Tabla 9 Bench Marck del levantamiento.....	50
Tabla 10 Tiempo empleado en el levantamiento fotogramétrico	50
Tabla 11 Tiempo empleado en el levantamiento topográfico con estación total	51
Tabla 12 Costos unitarios generados con levantamiento fotogramétricos	52
Tabla 13 Costos unitarios generados con levantamiento con estación total.....	52
Tabla 14 Comparativo de costos unitarios	53
Tabla 15 Comparativo del costo total de cada método.....	53
Tabla 16 Error horizontal según tipo de levantamiento.....	54
Tabla 17 Error vertical según tipo de levantamiento.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 18 Parámetros evaluados en el estudio.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Profundidad de color (Fuente; Quiróz E, 2014)	13
Figura 2 Dron Phantom 4 RTK.....	19
Figura 3 Estación Total Nikon DTM-632.....	27
Figura 4 Mapa de la provincia de Otuzco (Elaborado por los tesisistas)	39
Figura 5 Vista satelital de la vía de evitamiento (Fuente: Google Earth).....	45
Figura 6 Número de puntos geodésicos.....	45

ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico 1 Tiempo con fotogrametría vs tiempo con estación total	51
Gráfico 2 Costo unitario de la fotogrametría vs costo unitario con estación total	53
Gráfico 3 Costo total con fotogrametría vs costo total con estación total.....	53
Gráfico 4 Precisión horizontal fotogramétrica vs precisión horizontal con estación total.....	54
Gráfico 5 Error vertical fotogramétrica vs error vertical con estación total ...	¡Error! Marcador no definido.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

a) Descripción de la realidad problemática

La calidad de las obras civiles en el mundo depende de la etapa constructiva, etapa de diseño y de los estudios previos realizados. En los estudios previos para la proyección de obras civiles como redes de agua potables, canales, carreteras, edificaciones, puentes, etc., el estudio de suelos y los levantamientos topográficos son estudios infaltables y que deben ser de alta calidad. En gran porcentaje la causa de la mala calidad o de corta vida útil de las obras civiles se debe a estudios de baja calidad o a la inexistencia de estos (Sánchez, 2017).

El levantamiento topográfico permitirá tener una idea de cuál es la forma del terreno donde se realizará la ejecución, además de conocer los puntos donde se generan las diferentes variaciones de alturas, contornos, que presenta el suelo, entre otros. En ese sentido, los instrumentos que se utilicen para la obtención de la información de campo deben ser lo más confiables posibles, ya que un elevado margen de error durante la etapa de levantamiento topográfico conlleva a un mal cálculo en la etapa de gabinete, y, por ende, el resultado sería la Proyección de un Expediente Técnico con serias deficiencias (Sánchez, 2017).

Se vienen realizando avances tecnológicos en el área de ingeniería, estos avances incluyen los levantamientos topográficos. Algunos sistemas tecnológicos en esta área son los sistemas de posicionamiento global, la teledetección, los dispositivos móviles y la fotogrametría. Si bien la topografía tradicional es la más usada para trabajos de levantamiento y replanteo, se encuentran en constantes cambios tecnológicos donde el procesamiento de información se ha tenido que realizar cada vez más rápida y eficiente. Debido a los avances de la computación incorporados a la topografía con softwares como AutoCAD o TGO; el ingreso de nuevas tecnologías de instrumentación como Scanner láser, fotogrametría o GPS geodésicos hace necesario que los topógrafos estén constantemente actualizados (Geomáticaes, 2016).

En Estados Unidos, durante la década de los 30, se realizaron los primeros trabajos fotogramétricos aplicados en gestión ambiental y conservación del

suelo y conservación del suelo. Durante estos años se crearon muchos de los equipos topográficos utilizados para la fotogrametría (fotocartógrafo, autoreductor, etc.); sin embargo, fue con los avances tecnológicos que la fotogrametría se volvió más común. La fotogrametría digital apareció con la aparición de cámaras fotográficas digitales, se obtuvieron imágenes de gran calidad, precisión, claridad y sin errores. Con estos avances en Estados Unidos se empezó a utilizar la fotogrametría en la generación de mapas topográficos y planos. No obstante, en determinados proyectos, los presupuestos onerosos que supone el despegue de un avión para la realización de la toma fotográfica hacían descartar esta técnica. Una alternativa para viabilizar el uso de la fotogrametría ha llegado con la aparición de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) (Global Mediterránea, 2018).

Los vuelos con VANT permiten emplear instrumental de costo razonable, para capturar las imágenes y postproceso en gabinete; alcanzando precisiones de pocos centímetros, debido principalmente a los vuelos a muy baja altura y modelos matemáticos fotogramétricos contrastados en el mercado para la corrección de posibles distorsiones geométricas de la cámara.

En el Perú en los últimos años se ha posicionado el ejercicio de VANT en el campo de topografía, más concretamente utilizada para levantamiento de grandes extensiones de terrenos. El dron más usado es el Phantom 4 RTK (DJI), con la capacidad de capturar imágenes de gran calidad con precisión al centímetro sin necesidad de control de tierra. Si bien es cierto el levantamiento tradicional o convencional con estación total sigue siendo el más utilizado, actualmente se están realizando en mayor medida levantamientos fotogramétricos. (UAVPerú, 2020)

Un levantamiento fotogramétrico utiliza cámaras métricas en vuelo tripulados (avionetas) o no tripulados (drones) desde donde se obtiene imágenes que permiten la elaboración de planos con mucha precisión en forma, dimensiones y posición. Esta tecnología, en el Perú, tiene un uso muy poco frecuente debido a la desconfianza y la falta de estudios que puedan certificar la confiabilidad de un levantamiento fotogramétrico, en contraste al levantamiento tradicional con estación total. (Arriola, 2018)

De manera similar, en la región La Libertad, no se han realizado levantamientos fotogramétricos en estudios definitivos de ingeniería; debido a la desconfianza en el método, esto demuestra la importancia de la realización de estudios referentes al uso de fotogrametría mediante dron y su comparación con un estudio tradicional mediante estación total; es decir, comprobar el grado de exactitud para un levantamiento topográfico.

b) Formulación del problema

¿Cuál es el análisis comparativo entre el levantamiento fotogramétrico y estación total, para el diseño geométrico de la carretera de evitamiento progresiva 0+000 al 3+837.26 km – Otuzco, La Libertad?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar el análisis comparativo del levantamiento fotogramétrico y levantamiento con estación total en el diseño geométrico de la carretera de evitamiento Km 0+000.00 y Km 3+837.26 – Otuzco, La Libertad.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento topográfico fotogramétrico y con estación total de la vía de evitamiento Otuzco.
- Calcular el tiempo empleado para el levantamiento topográfico fotogramétrico y levantamiento topográfico con estación total en la vía de evitamiento Otuzco.
- Determinar los costos para el levantamiento topográfico fotogramétrico y levantamiento topográfico con estación total de la vía de evitamiento Otuzco.
- Determinar la confiabilidad de los levantamientos topográficos fotogramétrico y tradicional.
- Determinar el método topográfico óptimo para el diseño geométrico de la carretera de evitamiento progresiva 0+000.00 al 3+837.26 km – Otuzco, La Libertad.

1.3. Justificación del estudio

Justificación técnica: esta investigación nos permitirá demostrar y aplicar un novedoso procedimiento en ingeniería en el área topográfica, mejorando la confiabilidad del método que permitirá aplicarlo en más proyectos.

Justificación metodológica: esta investigación indaga nuevos métodos (directos e indirectos) para levantamientos topográficos en el Perú para generar confianza en el usuario y demostrar su validez y confiabilidad. El método de análisis de información con aplicaciones de georreferenciación digital podrá ser utilizado por futuras investigaciones, en función al diseño geométrico de carreteras según el manual recomendada por la AASHTO y el manual de carreteras del MTC/DG-2018.

Justificación académica: esta investigación permitirá reflexionar sobre los métodos tradicionales de levantamientos topográficos y contrastarlos con los resultados obtenidos por el método fotogramétrico, para generar soluciones más precisas y económicas.

Justificación práctica: esta investigación se realizará para demostrar la calidad de los levantamientos topográficos, optimizar el gasto público reduciendo tiempos de operación y mejorando la calidad del producto final.

La responsabilidad de un ingeniero civil es diseñar, proyectar y ejecutar obras que permitan satisfacer las necesidades de una determinada; para ello, es necesario realizar un estudio topográfico del lugar donde se desarrollaran los proyectos para conocer su altimetría y planimetría del terreno.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Internacionales

Sánchez y Osorio (2016) en su tesis "Comparación de los métodos topográficos aplicados en la construcción de túneles, utilizando el método convencional y la tecnología escáner laser 3D (ELT)" concluyeron en su trabajo que el levantamiento por ELT crea 175% bastante más de información que los procedimientos clásicos, el procedimiento del ELT generó zonas y volúmenes más exactos gracias a la densidad de información, es más económico usar un levantamiento topográfico clásico, la exactitud del scanner tuvo un error de 6 mm mientras tanto que en la estación total ha sido de hasta 10 cm, al final el rendimiento del scanner ha sido de un 70% más óptimo.

Claros, Guevara y Pacas (2016) en su trabajo de investigación "Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de UAV vehículos aéreos no tripulados" tuvo como finalidad realizar un levantamiento fotogramétrico de baja altitud mediante el uso de UAV (drones) concluyendo que la fotogrametría permite realizar un levantamiento topográfico en muy corto tiempo, con resultados confiables y comparables con otros instrumentos topográficos; además de ser accesible, económico y eficaz.

Ruales (2018) en su investigación "Pertinencia del uso de drones en la caracterización geoespacial del módulo dos junta de agua de riego de la comuna Morlán, Imbabura" tuvo como fin contrastar técnica y económicamente los levantamientos convencionales con los levantamientos mediante el uso de drones; concluyendo que los levantamientos tradicionales resultan más costosos y menos eficientes, existen diferencia significativas en altimetría siendo más preciso el uso de dron el mismo que tiene un producto mucho más detallado.

León (2018) en su trabajo "Uso de cuatro métodos topográficos de recolección de datos con el objeto de evaluar la precisión y costos de cada uno. Caso real taludes de la vía E35 Colibrí – Pifo, sector km 20 – km 24" tuvo como finalidad identificar cual es el método topográfico más eficaz y preciso para obra de movimiento de tierras teniendo en cuenta la rapidez y el

precio; pudo concluir que el levantamiento con dron fue el menos preciso posiblemente porque el tiempo estuvo nublado y la vegetación alta, se obtuvieron mejores resultados y similares con la estación total, sistema RTK y scanner laser.

Villareal (2015) en su investigación denominada “Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículo no tripulados (UAV) respecto a la densidad de puntos de control” se propuso examinar la exactitud de los levantamientos topográficos con dron respecto a la densidad de puntos; concluyendo que la precisión de los levantamientos está en función a la cantidad de puntos de control siendo la cantidad adecuada de 4GCP por hectárea de terreno.

Huera (2017) en su tema denominado “Sistema aéreo de drones para mejorar el levantamiento topográfico de los predios de la ciudad de Tulcán” cuya finalidad ha sido llevar a cabo un sistema aéreo que contribuya al mejoramiento del levantamiento topográfico determinando los recursos constituyentes para la medición de coordenadas mediante estos dispositivos; concluyendo que este sistema permitirá mejorar la gestión turística, eliminar barreras tecnológicas, experimentar la aplicación de nuevas tecnologías.

2.1.2. Nacionales

Mata (2015) en su tesis doctoral “Análisis, mejora y automatización de métodos de apoyo para fotogrametría de objeto cercano” cuya finalidad fue desarrollar una estación robotizada para realizar levantamientos automatizados concluyendo que el sistema funciona muy bien a distancias cercanas en el orden de 1 mm en distancias medias de 4.2 metros y menos de 10 mm en distancia mayores a 128 metros.

Sánchez (2017) en su trabajo de averiguación titulado “Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento topográfico con dron en la plaza San Luis – 2017” cuyo objetivo primordial ha sido decidir la exactitud y precisión del levantamiento topográfico con dron y entablar un manual para su implementación; la exactitud promedio en el norte ha sido $1/128788378562$, en el este $1/10802906988$ y en la cota de $1/311843$ resultandos por encima de la tolerancia del Instituto de Estadística y Geografía; además las

variaciones con en relación a levantamientos con estación total no supera \pm 5 mm.

Parra (2019) en su indagación llamada “Modelo analítico de los parámetros para la fotogrametría con drones en obras civiles” cuya finalidad fue determinar el modelo analítico conociendo la altimetría por medio de drones; ha podido concluir que el procedimiento analítico para la fotogrametría es mejorar el análisis de obras viales, además es primordial la planificación de vuelo y las características de vuelo; se utilizó el software Agisoft Professional y Civil 3D

Paucar (2019) en su tesis “Aplicación de fotogrametría digital de objeto cercano en infraestructura mina, proyecto minero Las Bambas – Apurímac” cuyo objetivo principal fue dar un fundamento científico al uso de la fotogrametría digital en la infraestructura minera; por lo que se pudo concluir que volando el RPA (Aeronave Pilotada a Distancia), a una altura máxima de 80 metros, se obtuvo una precisión planimétrica de 2 cm y precisiones de 6 cm en altimetría.

Tacca (2015) en su investigación “Comparación de resultados obtenido de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional”, se obtuvo con el fin de comprobar los resultados de las medidas conseguidas con estación total de alta exactitud y un UAV (Vehículo No Tripulado), en su investigación se pudo determinar una confiabilidad del 95% siendo el método mucho menos costoso.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Levantamiento fotogramétrico

2.2.1.1. Conceptos fotogramétricos

La fotogrametría proporciona las herramientas para representar mediante las fotografías un terreno, edificio en planta o la fachada de una iglesia, a bajo costo en comparación a otras técnicas, esto debido a que en pocos minutos se puede tomar una gran cantidad de información. De vital importancia para la elaboración de mapas de elevación, uso de suelo, presencia de vegetación, etc. La principal ventaja de la fotogrametría es la toma de datos sin intervención directa del área de estudio o trabajo, dejando de lado perturbaciones en el ambiente o en las actividades de la población.

En la ingeniería, su uso se está acrecentando para la concepción de proyectos, ya que brinda información sobre la vegetación y las condiciones topográfica del área donde se pretende proyectar las obras. Así mismo, en países desarrolladas, la fotogrametría es el principal método para la generación de mapas cartográficos oficiales (Paucar, 2016).

Para la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS), el registro y la interpretación de fotos que ayuden a conocer a detalle una zona de estudio es una tecnología, arte y ciencia a la que se le denomina fotogrametría. Esta definición se acepta a nivel mundial y es la más actualizada sobre la fotogrametría (Aguirre, 2016).

Otra definición habla sobre la técnica cuyo objetivo es representar el mundo real con la mayor precisión y exactitud posible un área determinada, siendo la toma de datos a distancia. Al final, con esta información se podrán elaborar mapas de interés ingenieril, económico, cultural o ambiental (Riaño, 2018).

Una traducción válida del inglés con respecto a la definición de la fotogrametría es la ciencia para la medición mediante fotos; además es parte de la geodesía, que a su vez forma parte de la teledetección.

Los puntos del terreno deben ser representados en mínimo dos fotografías. Si tenemos la capacidad de recuperar los parámetros geométricos del terreno cuando se tomaron las fotos, entonces será posible el cálculo de las coordenadas 3d del punto utilizando las configuraciones de las fórmulas de raras y posterior a ello se podrá calcular la intersección. Así pues, lo descrito anteriormente es el objetivo central de la fotogrametría, de esta manera será posible digitalizar vectores como líneas, puntos, polígonos y área, para la posterior elaboración de planos y mapas (Linder, 2016).

2.2.1.2. Evolución de la fotogrametría

Con el paso del tiempo, la fotogrametría se ha venido desarrollando de manera acelerada, esto gracias al avance en simultáneo de otras ramas tales como la informática, la aviación y la óptica. La fotogrametría ha tenido siempre la labora de la generación de cartografía dado que hace fácil el análisis del terreno mediante fotos aéreas, pero, la producción cartográfica no es el único fin de la fotogrametría. La rama de la topografía ha ganado mucho avance con la ayuda de la fotogrametría, esto luego de implementar los levantamientos de fotogrametría que permite determinar volúmenes, áreas, pendientes y la localización de puntos en determinadas zonas terrestres (Espinosa, 2017).

2.2.1.3. Fotogrametría digital

A partir del año 2000, las computadoras empiezan a desarrollarse aceleradamente, ante ello, la utilización de fotografías digitales y procesamientos usando la computados se convierte en una necesidad. Computadores con procesadores elementales y capacidad mínima de almacenamiento, permiten hoy en día el manejo y administración de fotografías digitales de elevada resolución (Paucar, 2016).

2.2.1.4. Clasificación de la fotogrametría

Existen varias clasificaciones con respecto a la fotogrametría, en las líneas siguientes se explicará algunas clasificaciones de acuerdos a los aspectos más relevantes para este trabajo.

Según la posición de la cámara y la distancia entre el objeto y la cámara, tenemos fotogrametría de rango cercano, terrestre, aérea y satelital. La fotogrametría aérea tiene una distancia superior a los 300 m, mientras que la satelital a los 200 km. Hay tres tipos según el número de imágenes a medir: son comunes la fotogrametría de una sola imagen, rectificación, de puntos y ortofotografías. Finalmente, la fotogrametría fuera de línea, tiempo real y en línea; que están clasificadas según la disponibilidad de resultados luego de la medición.

2.2.1.5. Geometría fundamental de la fotogrametría

Determinar con rigurosidad estos parámetros o elementos internos, es el primer fin de la restitución fotogramétrica. Para solucionar el reto de representar un objeto teniendo como insumo las fotografías de la superficie terrestre es necesario utilizar un proceso combinado de cambio que incluya las operaciones correlativas posteriores, según los métodos que se mencionan a continuación.

Método 1: orientación absoluta + orientación interna + orientación relativa.

Método 2: orientación exterior + orientación interna.

Existen tres sistemas de referencia que se emplean con mayor frecuencia para analizar las aproximaciones consecutivas del método general de la fotogrametría.

- Sistema de coordenadas de la fotografía.
- Sistema de coordenadas del modelo estereoscópico.
- Sistema de coordenadas del terreno.

En fotogrametría, las distintas relaciones matemáticas que se puede dar ente los múltiples sistemas cartesianos se llaman orientaciones.

2.2.1.6. Cámaras digitales

En el uso de cámara digital, las imágenes son registradas por unas pequeñas células fotoeléctricas (CCD) que han sustituido el plano focal de la cámara. Para realizar un proceso fotogramétrico exitoso es necesaria la selección adecuada del sensor, ya que existen una gran diversidad de

categorías de cámaras como los son las cámaras digitales de pequeño, medio y gran formato, además de esto existen otros que usan las capacidades multispectrales, esto proporciona una elevada gama de posibilidad al momento de la selección del sensor, la selección debe estar acorde a lo que el proyecto requiere y de las diferentes herramientas de cámaras con las que posean los RPA utilizados para llevar adelante un proceso fotogramétrico.

Actualmente, las cámaras digitales traen una variedad de componentes que facilitan una captura de la imagen muy eficiente, esto es posible luego de transformar la luz en energía, el direccionamiento de los haces de luz por parte de los lentes de la cámara hacia los sensores, en función al tamaño de estos receptores de información se obtendrán imágenes de determinada calidad, además, estos sensores tienen la capacidad de la clasificación de las diversas variación de la luz y la traducción en lenguaje binario.

La imagen rectangular es un formato que se encuentra con mayor frecuencia en las cámaras, la dirección transversal es la que manda para la dimensión mayor ya que de esta manera se minimiza la cantidad de líneas de vuelo. La unidad de medida para el sensor son los milímetros, verbigracia, la cámara Phantom 4 pro tiene un sensor de 13.2 milímetros. Existe una gran gama de longitudes focales que varían entre 8 mm y 120 mm. La visión es distinta en la dirección de vuelo y para la línea de vuelo porque el formato del sensor es rectangular. En las cámaras digitales, la configuración de la longitud de foco y el tamaño del pixel caracteriza al perfil de operación. La distancia para el muestreo requerido GSD determinan los parámetros de las misiones para cada vuelo fotográfico usando cámaras digitales (Riaño R, 2018).

2.2.1.7. Fotografía e imagen digital

Actualmente, la mayoría de las imágenes de fotogrametría que se emplean son de formato digital, debido a que la fotogrametría digital ha logrado obtener un gran reconocimiento en estos últimos años. La

digitalización de una imagen tiene que ver, ya sea, porque fueron capturadas con un sensor digital o porque luego de la captura han sido transformadas mediante un scanner fotogramétrico a un formato digital (Quiróz, 2014).

Debido a esto, nuestro enfoque estará en estas imágenes, haciendo una descripción de la estructura, como del tratamiento.

2.2.1.7.1. Imagen digital

Cuando hablamos de una imagen digital nos referimos a una matriz de dos dimensiones, que contiene unas pequeñas celdas a las que se le denominan píxeles, unidades que contienen información. Esta información se extrae según el nivel digital (valor) que varía según el grado de gris (Quiróz, 2014).

La imagen digital descrita se refiere a una imagen mono banda, es decir que está formada por una sola matriz y cuya visualización será en niveles o grados de gris (Quiróz, 2014).

Empero, existen imágenes a color, como por ejemplo las denominada RGB, que son imágenes compuestas por tres matrices en niveles de rojo (Red), verde (Green) y azul (Blue). Entonces al haber un mayor detalle de información y al ser tres matrices con sus propios niveles digitales, el almacenamiento de estas imágenes es mucho mayor que las mono banda (Quiróz, 2014).

2.2.1.7.2. Características de la imagen digital

A. Resolución

Cuando hablamos de la calidad de una imagen, indudablemente nos estamos refiriendo a la resolución. Como ya se mencionó, la imagen está compuesta por pequeñas celdas cuadradas o píxeles, cuando estos son de menor tamaño la imagen tendrá mayor resolución, dado que hay un mayor detalle de información, en este caso, del terreno. Cuando el tamaño de los píxeles es muy grande mucha información se pierde y no hay una representación adecuada del terreno. Ahora, es claro que, a mayor

resolución, el almacenamiento o el peso de la imagen será mayor. La unidad de medida es el PPP que se refiere a píxeles por pulgada. Se denomina resolución espacial para las imágenes aéreas y tiene relación directa con el píxel de la superficie GSD.

B. Dimensión

El ancho y el alto de la imagen en mm, pulgadas o píxeles viene siendo la dimensión de una imagen.

C. Profundidad de color

La característica de profundidad de color está dada por el número de bits que se utilizaron para la descripción del color de los píxeles. Si la profundidad es mayor, entonces se podrá visualizar una mayor variedad de colores en la imagen. Como muestra de el efecto de los bits en la imagen se muestra la siguiente imagen.

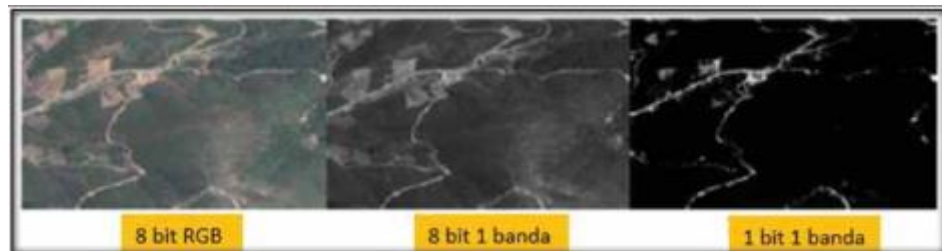


Figura 1 Profundidad de color (Fuente; Quiróz E, 2014)

D. Tamaño del archivo

Con respecto al tamaño se puede afirmar que es el espacio necesario en una computadora para el almacenamiento de la imagen a procesar.

La cantidad de bits necesario para el almacenamiento depende, como se mencionó anteriormente, de la resolución teniendo en cuenta la dimensión y la profundidad de color.

$$\text{Tamaño} = R^2 * L * A * P$$

Donde:

R^2 = Resolución (ppp)

$L * A$ = Largo y Ancho (pulg.)

P = Profundidad de color

Si desea almacenar la imagen a color, el tamaño de esta se debe multiplicar por tres.

Se debe tener en cuenta es que el trabajo y procesamiento de imágenes digitales requiere de un volumen alto de almacenamiento ya que en fotogrametría se trabaja con una gran cantidad de información. Incluso si el proyecto no es de dimensiones elevadas, este estará formado por numerosas imágenes que deben ser almacenadas en un computador con suficiente memoria. Lo mencionado representa uno de los mayores inconvenientes en la fotogrametría, pero existe una forma de remediarlo en cierta medida.

E. Compresión de imágenes

Como se comentaba en el ítem anterior, existe una forma de remediar el problema del gran volumen generado para el almacenamiento de una imagen digital, esta técnica es conocida como compresión de imágenes, y va a reducir considerablemente el espacio de almacenamiento. Sin embargo, la técnica debe ser empleada con mucho criterio y cuidado, debido a que ciertos algoritmos que usa la compresión ocasionan pérdida de información sin solución que generan la reducción de la calidad de la imagen (Paucar, 2016).

Lo que puntualmente hace la compresión de imágenes es la reducción del número de datos requeridos para la representación de una imagen digital. La base de esta técnica está en eliminar cada uno de los datos que se repiten en la imagen, estos datos son conocidos como datos redundantes. Entonces a mayor cantidad de datos redundantes es posible una mayor compresión. La ratio de compresión es un término bastante importante de conocer, viene a ser la relación existente entre el peso de almacenamiento de la imagen original y la comprimida. Si hablamos de un ratio de 2:1, esto quiere decir que la foto original ocupaba el doble de espacio que la imagen comprimida (Paucar, 2016).

Anteriormente se mencionó acerca de ser cuidadosos con la compresión de imágenes ya que algunos algoritmos sacrificaban información

necesaria para que el tamaño del archivo sea mucho menor, estos se conocen como algoritmos con pérdida. El principal problema de estos algoritmos es que, en el proceso de descompresión, son incapaces de reproducir la imagen como era originalmente, donde se evidencia que la información es incompleta (Paucar, 2016).

Las pérdidas son mínimas y el ojo del ser humano es incapaz de apreciarla. En determinados casos en donde se trabaja con la métrica de la imagen como principal uso, no es posible la aplicación de los algoritmos con pérdida para la compresión (Paucar, 2016).

Es más seguro emplear algoritmos sin pérdida, de manera segura estos algoritmos reducen el almacenamiento de la imagen. La desventaja sobre los anteriores algoritmos es que no reducen considerablemente el tamaño, pero hay garantía de la conservación íntegra de la información en la imagen conservándose, además, las propiedades métricas (Paucar, 2016).

2.2.1.8. El dron

La principal ventaja de un dron es el ser un vehículo sin tripulación y que además es reutilizable, con capacidad para mantener un mismo nivel de vuelo con control remoto, o autónomo, con propulsión de motor de reacción o de explosión, utilizados en labores militares y civiles. En estos últimos años, se vienen dando la revolución audiovisual de forma acelerada, esto principalmente por la presencia de los drones, con técnicas tradicionales hubiese sido imposible capturar imágenes capturadas por los drones de manera rápida y precisa. Un dron topográfico posee capacidades suficientes para fotografiar en un día cien hectáreas de superficie, empero, hay drones de una gama más alta que tiene la capacidad de cubrir cinco mil hectáreas de superficie de manera diaria. Los primeros drones, tenían un control de manera remota, sin embargo, hoy en día se ha logrado implementar el control autónomo. Entonces, actualmente se manejan drones con control de manera remota y otros que bajo una programación de vuelo permiten el levantamiento de información de determinada superficie (Sani et. al., 2014).

2.2.1.9. Aéerotriangulación

Este procedimiento es realizado en gabinete, aquí se almacenará la información conseguida en campo, tales como las fotografías captadas por el dron según el itinerario de vuelo, los puntos de control colocadas mediante un GPS diferencial y otras fotografías que se registraron en cada uno de los puntos. En este proceso son usadas las ecuaciones de colinealidad para el modelamiento matemático, estas ecuaciones incluyen un gran número de redundancias al cálculo para aportar consistencia al sistema y que sea posible la obtención de resultados RMS con elevada fiabilidad. La aerotriangulación implica todo este proceso de cálculo.

2.2.1.10. Dron Phantom 4 RTK

DJI ha rediseñado la ciencia de los drones desde su concepción, presentando innovaciones revolucionarias que podrían crear nuevos estándares en la precisión de los drones.

El Phantom RTK proporciona a los usuarios información con precisión de centímetros que requiere menor cantidad puntos de control en suelo que en tiempos previos. El Phantom 4 RTK incluye un módulo RTK totalmente incorporado que facilita información de ubicación densimétrica en tiempo real, con lo cual obtendremos una precisión absoluta en la metainformación de la imagen. El Phantom 4 RTK se acomoda a todo tipo de forma de trabajo. Puede ensamblar su sistema de posicionamiento a la estación móvil D-RTK 2, a NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) por intermedio de un accesorio 4G o una conexión local Wi-Fi, o acopiar la información de satélite para usarla en PPK (Posprocesado cinemático).

El nuevo sistema TimeSync fue concebido con el fin de poder sincronizar constantemente el controlador de vuelo, la cámara y el módulo RTK, para de esta manera poder utilizar los componentes de posicionamiento del Phantom 4 RTK al máximo. Además, TimeSync asegura la utilización de la metainformación más precisa en todas las imágenes y establece los datos de posicionamiento al centro del CMOS – adecuando los productos

de los métodos fotogramétricos y permitiendo que la imagen consiga un nivel de precisión centimétrico.

Posee un sensor CMOS de 1 pulgada y 20 megapíxeles que le permite capturar la mejor imagen posible. Además, tiene un obturador mecánico gracias al cual el Phantom 4 RTK tiene la versatilidad de moverse y capturar imágenes sin la aparición de distorsión alguna del obturador, por lo que los trabajos de mapeo y recopilación de datos se pueden realizar sin problemas. Gracias a su alta resolución, el Phantom 4 RTK puede alcanzar un tamaño de píxel de tierra (GSD, por sus siglas en inglés) de 2.74 cm a una altura de 100 m. Para que el Phantom 4 RTK brinde una precisión inigualable, todos los objetivos se someten a un riguroso proceso de calibración, que mide la distorsión radial y tangencial del objetivo. Las mediciones hechas se almacenan en los metadatos de cada imagen con el fin de que cada usuario pueda utilizar el software de post procesamiento en el cual podrá realizar ajustes personalizados.

La nueva aplicación GS RTK ofrece una mayor cantidad de posibilidades para que los usuarios puedan controlar su Phantom 4 RTK, con dos modos de planificación (fotogramétrico y trayectoria) que se unen al modo de vuelo tradicional. Los modos de planificación dan la facilidad al piloto de trazar una trayectoria de vuelo del dron y establecer parámetros como la ratio de superposición, la altitud, la velocidad y la configuración de la cámara, entre otros. Lo cual permite mecanizar los procesos de trabajo en cartografía o inspección.

La aplicación GS RTK fue creada considerando a los usuarios, posee un sinnúmero de características diseñadas para procesos de trabajo específicos de cartografía o inspección. La aplicación proporciona la capacidad de cargar directamente archivos de área KML con el fin de proyectar los vuelos en la oficina, posee el modo de prioridad del obturador con el que la exposición puede conservarse en todas las fotos, además de una alerta por fuertes vientos avisa a los pilotos que las condiciones climáticas son adversas.

El Phantom 4 RTK es compatible con el SDK Móvil de DJI, por lo que sus funciones pueden automatizarse y personalizarse a través del dispositivo móvil.

Goza de una transferencia en HD constante y fiable con un alcance de 7 km, adecuado para la realización de mapeo de áreas muy extensas. Sin obstáculos, sin interferencias, de acuerdo con las reglas de la FCC. El rango de transmisión es dependiente de la potencia y la resiliencia de la señal de radio. Mantenga el espacio de vuelo siempre en el rango de visión, excepto que este autorizado a lo contrario.

Perfecciona y aumenta la capacidad de las misiones de tu Phantom 4 RTK con la estación móvil D-RTK 2 y obtén registros de posición relativa del dron instantánea de tal forma que se pueda generar una solución de exploración precisa. El gran y revolucionario diseño de la estación móvil y su componente de transmisión OcuSync 2.0 aseguran un acopio de datos de precisión centimétrica con tu Phantom 4 RTK en gran variedad de situaciones.

Posee una aplicación cuyas características de proyección de vuelo incluidas (GS RTK) y un estilo claro de recolección de datos RTK (RTK Network o estación móvil D-RTK 2), además que se tiene pues una alternativa integra para exploración, cartografía o inspección que se encuentra al alcance de todos los pilotos.



Figura 2 Dron Phantom 4 RTK

2.2.1.11. Procesamiento en gabinete de información fotogramétrica

De la memoria de los Estación Total y base drtk2 se extrajo la información de las coordenadas. Dicha información incluye, las coordenadas XYZ y Descripción de los puntos medidos.

- Una vez obtenido los datos de ET y Base Drtk2, estas son verificadas en una hoja de cálculo del Excel.
- Verificados los datos en el Excel. Estos son ploteados en el Programa de Dibujo AutoCAD Civil 3D 2013.
- Con ayuda del AutoCAD se procede a dibujar los detalles medidos en campo (accesos, canales, delimitación de manzanas, etc.)
- Una vez procesados los datos se procede a la generación de curvas de nivel y posteriormente a la edición de la superficie topográfica con ayuda de las herramientas del AutoCAD Civil 3D.
- Se procedió a realizar el procesamiento fotogramétrico para la obtención de una ortofoto, nube de puntos, modelo digital de terreno en el programa Pix4d.
- El paso siguiente es la Elaboración de los Planos Topográficos requeridos por el cliente. Es la segunda fase de los trabajos en gabinete; para lo cual se procede a seleccionar la información proveniente del

software PIX4D. Las Ortofotos por vuelo y las curvas de nivel son los insumos necesarios para la elaboración de planos topográficos. Esta información fue llevada a un entorno CAD a fin de extraer de forma manual la información planimetría como son: elementos culturales, elementos hidrográficos, elementos de vías de comunicación, etc. La información planimetría se procede a editar, apoyado en las ortofotos, tomando en cuenta los principios de las entidades geográficas y sus atributos. Los planos topográficos preparados en formatos A1 (841X594 mm), para representar a escala 1/1000, El Proyecto Inkabor con curvas de nivel intermedia cada 1.00 metros y curvas de nivel maestra cada 5.00 metros

2.2.2. Levantamiento con estación total

2.2.2.1. La topografía plana

La topografía tiene por objetivo determinar las áreas, distancias, perímetros y pendiente de cierta superficie terrestre proyectada sobre un plano horizontal y sin tomar en cuenta los efectos de la curvatura del geoide terrestre. Su aplicación es de vital importancia para la medición de dimensiones de un terreno, parcelas o lote. Esta técnica tiene como principal limitación la extensión del área a estudiar, siendo principalmente áreas pequeñas. Los levantamientos geodésicos al igual que los topográficos, tiene la misma finalidad, sin embargo, la precisión y magnitud difiere.

La mayoría de levantamientos realizados en proyectos de ingeniería, ya sea en el estudio como en la ejecución, son los del tipo topográfico, debido a que los errores luego por exclusión de la curvatura son muy despreciables y la precisión que se obtiene no excede los márgenes aceptables desde el punto de vista ingenieril.

Esto quiere decir que solo debe tomarse realmente en cuenta la forma geoide de la tierra cuando se necesite un levantamiento para superficies realmente grandes y la ejecución requiera ser de alta precisión.

En la determinación de alturas o cotas, aunque no se necesite gran precisión, no debería despreciarse la forma curva de la tierra, sin embargo, el trabajo de nivelación no necesita otro trabajo para referenciar las alturas, ya que la nivelación de los puntos seguidos usualmente se realiza a distancias pequeñas y las líneas visuales quedan de forma paralela a la superficie media terrestre.

2.2.2.2. Estación total electrónica

La inclusión de distanciómetros y microprocesadores electrónicos en los teodolitos electrónicos, ha generado uno de los aparatos más usados hoy en trabajos topográficos. Estos aparatos electrónicos son las estaciones totales.

Un equipo de estación total electrónica tiene la capacidad para realizar mediciones de distancias horizontales y verticales, ángulos horizontales y verticales. Además, gracias al microprocesador, se puede realizar el cálculo de las coordenadas topográficas (elevación, este y norte) de cada uno de los puntos visados. Adicionalmente, estos aparatos traen consigo tarjetas magnéticas para el almacenamiento de datos. Estas tarjetas podrán ser conectadas a una computadora y gestionar la información con programas aplicados.

Otra característica relevante de una estación total, es que tienen la posibilidad de medir ángulos verticales con el cero en el zenit y los ángulos horizontales en los dos sentidos.

2.2.2.3. Error instrumental de una Estación Total

Cuando realizamos la actividad para obtener los datos técnicos de trabajo topográfico con una estación total, es necesario cumplir con los siguientes procedimientos:

- La posición del eje vertical debe estar vertical al zenit.
- El eje horizontal debe quedar totalmente perpendicular al eje de puntería.
- El eje horizontal debe quedar totalmente perpendicular a la inclinación del eje vertical.

- Hacer cero la lectura de eje vertical al señalar el cenit como parte de las primeras configuraciones.
- Explicar la falla en los casos que no se cumplan.
- El ángulo de desvío o inclinación del eje vertical (se encuentra conformado por la plomada y el eje vertical).
- Error en el Eje de Puntería (es la inclinación en referencia al ángulo recto en medio del eje de puntería y de inclinación.)
- Error del eje de inclinación (viene a ser es el desvío del ángulo recto entre el eje de inclinación y el eje vertical).

Existe una probabilidad de que los errores, en cuanto a la medición de ángulos horizontales, aumenten paralelamente al diferencial de altitud entre los puntos o zona geográfica en análisis.

Se puede eliminar el error del eje de puntería y del eje de inclinación de acuerdo al aviso y a la entrada de mediciones en ambas posiciones del anteojo. De la misma forma se puede hallar y anotar en el momento que se miden los ángulos automáticamente, para poder tomarlos en consideración, es por esto que los datos tomados es examinada y considerada sin error alguno, aun en los casos en los que solo se haga única lectura con una sola posición del anteojo. La inclinación del eje vertical no se toma en cuenta por considerar como error del instrumento.

2.2.2.4. Estaciones robóticas

Este instrumento más avanzado consta de un servo motor de rastreo junto a una unidad de control remoto con posicionamiento que maneja la estación total a manera de un recolector de información y un emisor. Esta conexión entre la unidad de control remoto y la estación se da mediante ondas de radio, siendo posible trabajar en múltiples condiciones como la oscuridad.

Instalada la estación, el instrumento se orienta colimando un punto referenciado que se conoce y mediante un botón se hace la transferencia del control de la estación hacia el control remoto posicionado. En adelante, la persona que opera tendrá la posibilidad de desplazarse dentro de los límites del área de trabajo junto a la unidad de control remoto, haciendo la recolección de la información.

Los equipos robóticos traen consigo softwares de aplicación instalados, que facilitan los trabajos de levantamiento topográfico y los posteriores de replanteo sin la necesidad más de una persona. Sin duda, esto es una gran ventaja en cuanto al ahorro de costos.

2.2.2.5. Levantamiento longitudinal (o de vía de comunicación)

Se refiere a los levantamientos utilizados para el estudio y construcción de vías de comunicación o transporte tales como canales, acueductos, vías férreas, carreteras, caminos vecinales, etc.

- Levantamiento topográfico de la zona donde quedará acentuada la obra, para la elevación y la planta (altimetría y planimetría a la vez).
- Diseño geométrico en planta tales como carreteras. Trochas y canales, según las especificaciones técnicas para cada obra.
- Ubicación del eje de la obra a diseñar a través de la colocación de bastones a distancias cortas, frecuentemente a distancia constantes de 5 y 10 metros.
- Realización del nivel del eje con bastones a través de itinerarios de nivelación para la determinación del perfil del terreno en todo el eje localizado y diseñado.
- Gráfica del perfil y determinación de las pendientes longitudinales.
- Representación de perfiles o secciones transversales de las obras y la localización de los puntos respectivos.
- Calcular los movimientos de tierras, volúmenes de corte y relleno y el cronograma de labores, para optimizar rellenos y cortes hasta lograr llegar a la línea de la subrasante del proyecto.
- Trazo y ubicación de la obra según el eje, es decir, obras complementarias que protegen o ayudan al buen funcionamiento de la obra a proyectar. En el caso de una carretera hablamos de alcantarillas, desagües, puentes, muros de contención, cunetas, etc.

2.2.2.6. Descripción del equipo utilizado

Se utilizó un equipo Nikon 632 para el levantamiento topográfico, línea que se caracteriza por ser simple, fiable y precisa. Se detallan las principales características.

2.2.2.6.1. Software y el interfaz de usuario

Este equipo tiene dos razones por la que se hace muy fácil de usar, la primera es el poderoso software con el que cuenta y luego está la interfaz amigable de usuario. Los datos son fácilmente administrados, introducidos y manejados de forma directa con hasta información de 32 trabajos en el equipo o diez mil registros. Adicionalmente, los puntos de control guardados no solo sirven para un trabajo, sino que pueden ser jalados desde otros archivos de trabajo.

2.2.2.6.2. Códigos funcionales

Cuenta con códigos funcionales y con variedad de métodos por ser introducidos, lo que permite recolectar datos con comodidad y rapidez.

Con una diversidad de procedimientos de entrada de código, la recopilación de datos en campo es rápida y conveniente. Las estaciones totales Nikon, Series 602, 502, y 302 proporcionan y permiten la entrada códigos y un fácil acceso a los códigos utilizados anteriormente. Cualquier persona podría establecer un máximo de 10 Códigos Rápidos que necesiten únicamente oprimir un botón. Simplemente apunte a su objetivo y oprima uno de los botones pre establecidos para presione una de las teclas predefinidas para medir y registrar un punto con codificación completa. El sistema brinda una lista completa de códigos, que puede ser establecida por el usuario, con varios niveles. La lista de códigos se puede generar y modificar tanto a bordo como cargada desde el ordenador.

2.2.2.6.3. Cálculos COGO

El cálculo de Cogo (geometría de coordenadas) es otra importante característica de las estaciones totales Nikon, Series 602, 502, y 302. Entre las operaciones se encuentran los cálculos de intersección, área y perímetro disponible.

2.2.2.6.4. Funciones de medición

Mediciones básicas rápidas y flexibles. Las teclas MSR1/MRS2 se pueden configurar individualmente para medición de parámetros; no pierde el tiempo cambiando o reconfigurando los modos de toma de datos. Si desea alta precisión además tiene disponible capacidad de medición F1/F2. Las

lecturas brutas y medias pueden ser almacenadas para su futuro. Mas características de toma de datos de las estaciones totales Nikon de las Series 602, 502, y 302 incluyen:

- Línea de referencia de dos puntos
- Plano de referencia inclinado de tres puntos
- Mediciones de distancia de eje
- Desviaciones grabadas
- Plano de referencia vertical de dos puntos
- Línea de referencia de arco
- Desviaciones angulares dinámicas vertical/horizontal

2.2.2.6.5. Velocidad y precisión

La estación total Nikon está entre las mejores y más rápidas de su tipo, con aptitudes para la medición de distancia increíblemente precisas a 1" y 2mm + 2 ppm lo cual nos hace ver que son sumamente precisas. Este rápido EDM lo mantiene en movimiento eficaz y rápido durante las fases de levantamiento, ayudándole a permanecer menos tiempo en el lugar de trabajo.

El NPL-632 tiene una precisión de ángulo de 2" y opera sin prisma con una precisión de medición de distancia de 3 +2 ppm.

2.2.2.6.6. Opciones EDM

El NPL Serie EDM muy conocido por facilitar a los usuarios la ubicación y toma de datos que se encuentran fuera de la capacidad de visualización de un prisma y así permite el avance de la toma de datos de un punto a otro. Se podría utilizar esta virtud para la toma de datos en lugares inaccesibles con alto grado de peligro para el personal de trabajo.

2.2.2.6.7. Portabilidad de datos

Las estaciones totales Nikon, Series 602 adicionan ranura CompactFlash (CF) y un puerto USB, proporcionando a los usuarios la capacidad de transferir datos guardados a una tarjeta CF o a un stick USB. En circunstancias en las que los datos de campo son necesarios en la oficina,

solamente deberá extraer la tarjeta o el stick de memoria y cargar los datos en su ordenador.

2.2.2.6.8. Imágenes más nítidas y brillantes

Más características de las estaciones totales DTM-632 comprenden la óptica de clase mundial de Nikon. Las lentes ópticas de Nikon dejan la entrada de mayor cantidad de luz, lo que da como resultado imágenes más nítidas y brillantes, incluso en condiciones de penumbra, efectos ópticos del ambiente o baja visibilidad, que suelen estar presentes en los entornos de trabajo. Vera imágenes más nítidas con menos distorsión, en particular para grandes distancias.

Todos los telescopios Nikon usan un exclusivo mecanismo de enfoque lineal que perfecciona el enfoque en distancias cortas y largas. Y el gran control de enfoque es sencillo de usar incluso con guantes.

2.2.2.6.9. Características robustas

En condiciones de trabajo con dificultad extrema una batería con duración extendida permitirá al usuario trabajar la mayor cantidad de horas posible durante el día sin tener que estar pendiente del cambio de batería; su producción en peso liviano adaptable a todo clima, asegura un alto rendimiento ante cualquier situación.

2.2.2.6.10. Altamente precisa

Los modelos 632 tiene una precisión de 2" creados con el fin de complacer una gran cantidad de aplicaciones de levantamiento de alta precisión.

2.2.2.6.11. Calidad óptica Nikon

Todos los productos Nikon utilizan lentes de alta calidad para ampliar las imágenes con mayor claridad.

2.2.2.6.12. Medios de memoria extraíbles

Los dispositivos de memoria USB o las tarjetas *compactflash* se podrían usar para la transferencia de datos de forma rápida y eficiente desde hacia la oficina.



Figura 3 Estación Total Nikon DTM-632

2.2.2.7. Costo

La Real Academia Española (2019), establece como costo la cantidad entregada o pagada por algo. El costo es una inversión que se puede usar en actividades, así como en recursos beneficiosos. Además, es la visualización económica de las actividades realizadas y los elementos utilizados. Se expresa en términos de dinero, producción y operaciones general (Facultad de Contaduría y Administración, 2003).

De manera similar, Marulanda (2009), define a costo como cualquier desembolso, pasado, presente o futuro, relacionado con un proceso de producción, cuya valía se incorpora al producto y se puede visualizar en el inventario con fines contables (desembolso o capitalización). Los elementos del costo son los siguientes: materiales, la mano de obra directa y los costos indirectos, las ideas primarias deben agrupar los valores de todo lo que necesita para adherirse en el proceso de producción. Por su parte, Erazo & Torres (2006) define el costo como la medida monetaria de los recursos utilizados para lograr una meta específica. Y el análisis de costo correspondiente no es más que el costo de “hacer algo”, es decir, tener conocimiento de cada producto de forma individual, con el propósito final de que el precio pueda satisfacer los costos totales. Bogotá Emprende (2009) hace alusión a que es una inversión monetaria que realiza una persona

natural o empresa con el fin de realizar tareas de producir un producto, comercializar mercancías y/o prestar servicios.

Según su comportamiento Castro W. (2011) clasifica a los costos en:

- Costos fijos. Estos costos son los que no dependen del nivel de producción, aunque no beneficie en nada son costos inevitables en el corto plazo. Es decir, los costos fijos siempre estarán presentes y deberán pagarse, así no se produzca además que estos costos no varían así haya aumento o disminución de la producción.

Ejemplo: los equipos topográficos Drone PHANTOM 4 y Estación Total Nikon 632, entre otros.

- Costos variables Son los costos que tienen dependencia de la cantidad de producción, es decir, que, si deseáramos queremos incrementar la producción, se incrementara los costos variables.
- Ejemplo: mano de obra, viáticos para los topógrafos, entre otros.

Según su asignación La Facultad de Contaduría y Administración (2003) clasifica a los costos en:

- Costos directos Costos de insumos o actividades las cuales pueden reconocerse y contabilizar en un objeto de costos. Cuando se habla de materiales directos o sueldos y salarios directos, se dice que se pueden identificar con precisión exactamente el producto. Ejemplo: compra o alquilar equipos de topografía, trabajadores de topografía, etc.
- Costos indirectos Constituye todos los costos que no se pueden identificarse y cuantificarse en un objeto de costos. Son gastos generales que no se pueden aplicar específicamente. Ejemplo: material de oficina, luces eléctricas para cargar baterías de estaciones torales entre otros.

Los costos en levantamientos topográficos

El costo de planificar y ejecutar cualquier proyecto está vinculado a la productividad y la demora de ejecución, es por ello, que en cualquier levantamiento topográfico es imprescindible medir el tiempo de realización de

la actividad, costos de materiales y equipos que se están utilizando y la cantidad de mano de obra para poder estimar el costo total. En el Perú, la variabilidad de los costos que tienen relación a la ejecución de cualquier trabajo de levantamiento topográfico se debe más que nada con el rendimiento del operario y ayudantes que realizan el trabajo.

2.2.2.8. Tiempo en levantamientos topográficos

La duración de los levantamientos topográficos se calcula en su gran mayoría se mide de acuerdo a la productividad del equipo y a los usuarios u operarios que realizaran dicho trabajo.

El tiempo en levantamientos topográficos

La ejecución de levantamientos topográficos tiene factores variables que se encuentran presentes constantemente que perjudican o ayudan dependiendo del caso, sin embargo, hay uno que por su relevancia puede resultar en aumentos muy considerables en los costos de ejecución de levantamiento topográfico. La velocidad en la ejecución de los ya mencionados levantamientos topográficos tiene dependencia directa de las Condiciones medioambientales – Experiencia y habilidad de los usuarios u operarios que están ejecutando el trabajo – Nivel de detalle de los planos solicitados – Condición física del lugar en estudio (otros factores)

2.2.2.9. Precisión

Alcántara (2014) determino como precisión en las poligonales como la correspondencia entre el error total y el perímetro medido, habitualmente como una fracción con la unidad como numerador. Los datos conseguidos en levantamientos topográficos poseerán siempre errores de varios tipos, como son déficit en la atención, torpeza, algún defecto de los instrumentos usados, entre otros.

Fernández y Gil (2012) organiza a los errores en: Error material, falta o equivocación. Error muy relevante entre el valor observado y el valor real a causa de la ineptitud del observador. Verbigracia, el cambio de toma de datos de un ángulo horizontal por uno vertical. Errores propiamente dichos, error

inevitable a causa de los desperfectos o descalibraciones que tienen algunos instrumentos y a los sentidos del operador en cuyo caso solo podrían disminuir mas no desaparecer.

Existen errores involuntarios que provienen de causas no permanentes y contribuyen irregularmente en los resultados; tiene dimensión y lógica variables. Un caso muy común se da: calcular mm en una lectura de mira con divisiones en cm. Errores permanentes o sistemáticos que derivan de orígenes fijos y poco conocidos, los cuales se dan siempre de la misma forma Poseen el mismo sentido y están causados por los mismos problemas de construcción y calibración de los instrumentos.

2.2.2.9.1. Precisión en levantamientos topográficos

La precisión en los levantamientos topográficos es una parte elemental, llega a considerarse como el concepto que define que tanto se acercan los datos tomados entre ellos, sin atender al valor verdadero de la medición. Además, contamos con la exactitud que nos manifiesta el grado de aproximación de los valores obtenidos en la medición al valor real.

La precisión tiene dependencia del equipo utilizado, las fallas de fábrica, así mismo el uso, ya que en topografía la toma de datos jamás llega a ser el 100% exacta. Depende también: de la situación medioambiental, injerencia con otros equipos electrónicos, etc.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Topografía

Ciencia que, mediante el uso de la geometría, logra representar y detallar de manera subjetiva una porción pequeña de la superficie terrestre. Si nos referimos a la naturaleza o el campo, estaremos representando un área de la superficie terrestre; si nos referimos a la zona urbana, estaremos representando un área compuesta, en donde adicionalmente encontraremos calles, inmuebles, senderos, muros y muchos otros elementos (Fuentes, 2012).

2.3.2. Levantamiento topográfico

Actividad que está basado en la realización de un estudio técnico que describe con el mayor detalle posible un terreno, poniendo especial atención en las condiciones geológicas, geográficas y físicas, como también las alteraciones y variaciones presentes. Los datos son reunidos y reflejados en un juego de planos de detalle, que servirán a futuro para la planificación y los diseños de obras como carreteras, edificaciones, defensas ribereñas, etc.

Otra definición refiere que es el paquete de operaciones que hacen posible la determinación de dimensiones y posiciones de elementos artificiales o naturales en la tierra. Cuando se realiza un levantamiento topográfico se componen de un trabajo realizado en campo y otro en gabinete, donde se procesa la información y se obtiene como producto un plano y valores de movimientos de tierra.

2.3.3. Sistemas de coordenadas

Sistema universal que facilita la elaboración de cartografía en áreas extensas, en la medición de distancias y la determinación de direcciones. Para representar la longitud y latitud se apoya en coordenadas angulares para la ubicación del oeste, este, sur y norte. Cuando tenemos un sistema de coordenadas con proyección estas son identificadas por coordenadas cartesianas que son determinadas matemáticamente desde la longitud y latitud (Claros et al., 2016).

2.3.4. Fotogrametría

Se define como la técnica cuyo objetivo es la realización del estudio y la determinación precisa de las formas, dimensiones y ubicaciones de un objeto en la superficie terrestre, mediante la captura de fotografía desde el aire. La captura de las fotografías permitirá la generación de planos con alta exactitud a través de la medición de estas; entonces, bajo esta dinámica, la fotogrametría se define como la ciencia que a partir de fotografías permitirá la elaboración de planos y mapas (Quirós, 2014).

1. **Ventajas de la fotogrametría respecto a topografía clásica**

- El clima es una de las limitantes en la fotogrametría, depende mucho de este en la precisión final; sin embargo, estos levantamientos son de menor costo debido a que los vuelos se dan en menor tiempo.
- La fotogrametría no exige un contacto con todo el terreno a levantar, solo será necesario el desplazamiento en los puntos de control o zonas de apoyo.
- Continuamente va realizando el registro del terreno, y a diferencia del levantamiento clásico este no registra únicamente puntos.

2. **Desventajas de la fotogrametría respecto a topografía clásica**

La principal desventaja es la presencia masiva de la vegetación debido a que puede impedir la visión de los objetos que interesen en el estudio.

2.2.6. **Vehículos aéreos no tripulados (UAV)**

Se refiere a la descripción de un vehículo que no necesita tripulación para su funcionamiento, puede volar de manera autónoma o controlado de manera remota. Los proyectiles y misiles no se encuentran incluidos en como UAV. Los UAV más conocidos y utilizados en las investigaciones alrededor del mundo son los drones con las siguientes aplicaciones:

- Prospección en exploraciones mineras.
- Hidrología y agricultura.
- Control de obras y evaluación de impactos.
- Control de calidad de aire.
- Cartografía y mapas catastrales.

2.2.7. **Cámaras métricas**

En la fotogrametría las cámaras más usadas son las métricas. Las células fotoeléctricas registradora de imágenes son sensores diminutos que reemplazan al plano focal en una cámara métrica: o sea, es posible la captura de información de diferentes lugares del espectro electromagnético.

2.2.8. **Estación Total**

Aparato útil para la medición de terrenos y área terrestre no muy grandes que mediante el uso de laser logra mediciones con exactitud en cuanto a

distancias y a ángulos con respecto a los resultados del teodolito convencional. La estación total tiene la capacidad de calcular y almacenar coordenadas geográficas de cada uno de los puntos teniendo en cuenta el norte, este y la altura, ahorrándose el procesamiento y cálculos complejos para la digitalización usando un software de dibujo asistido por computadora (Hernández, 2011).

2.2.9. Confiabilidad

Se refiere a la capacidad de un elemento, herramienta, modelo u objeto para el cumplimiento de una función solicitada. En otras palabras, la confiabilidad es posible cuando aquel elemento realiza lo que deseamos y a la hora que lo necesitamos. Estadísticamente hablando, la confiabilidad es la probabilidad para cumplir las funciones requeridas en un intervalo de tiempo preciso y en un contexto establecido (Sánchez, 2017).

2.2.10. Exactitud

Se refiere a la proximidad que tiene un valor generado hacia el valor real de una cosa. Cuanto el sesgo sea más pequeño la exactitud es mayor. El error absoluto es la forma de expresarla.

2.2.11. Precisión

Se refiere al grupo de valores conseguidos de medidas seguidas. Existe una alta precisión cuando la dispersión es la menor posible. La desviación estándar es el indicador estadístico para la precisión.

2.2.12. Tolerancias

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC, 2018) en su manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales vigente; el mismo que es un documento técnico de carácter obligatorio en todo el territorio peruano. Exige que cualquier trabajo de topografía deberá cumplir con las siguientes tolerancias:

Tabla 1 Tolerancias en trabajos topográficos

Tolerancia según la fase de trabajo	Tolerancia fase de trabajo	
	Horizontal	Vertical
Georreferenciación	1:100,000	± 5 mm
Puntos de control	1:10,000	± 5 mm
Puntos del eje, (PC), (PT), puntos en curva y referencias	1:5,000	± 10 mm
Otros puntos del eje	± 50 mm	± 100 mm
Sección transversal y estacas de talud	± 50 mm	± 100 mm
Alcantarillas, cunetas y estructuras menores	± 50 mm	± 20 mm
Muros de contención	± 20 mm	± 10 mm
Límites para roce y limpieza	± 500 mm	
Estacas de subrasante	± 50 mm	± 10 mm
Estacas de rasante	± 50 mm	± 10 mm

Nota. Recuperado de "Manual de carreteras DG-2018", de MTC, 2018.

2.4. Sistema de hipótesis

El levantamiento topográfico mediante fotogrametría es el más óptimo por ser menos costoso, más rápido y más confiable frente al levantamiento convencional con estación total, según investigaciones realizadas sobre el problema de investigación.

2.5. Variables

- Método más óptimo para el levantamiento topográfico de carreteras

Tabla 2 Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE Método más óptimo para el levantamiento topográfico de carreteras	Levantamiento fotogramétrico (Dron)	Es la ciencia para crear representaciones 3D a partir de imágenes 2D y permite obtener características geométricas de una porción del terreno. (Jauregui, p. 1)	Son todos los procedimientos de campo y gabinete que permiten obtener planos a partir de fotografías.	Tiempo empleado (hr)	Cuantitativa de razón
				Costos de ejecución (S/)	Cuantitativa de razón
				Confiabilidad (%)	Cuantitativa de razón
				Elevación (m)	Cuantitativa de razón
	Levantamiento convencional (Estación total)	Es la ciencia y técnica que mediante mediciones de ángulos y distancias permiten representar una porción reducida de terreno.	Son todos los procedimientos de campo y gabinete que permiten obtener planos a partir de la nube de puntos recolectados.	Longitud y altura (m)	Cuantitativa de razón
				Tiempo empleado (hr)	Cuantitativa de razón
				Confiabilidad (%)	Cuantitativa de razón
				Costos de ejecución (S/)	Cuantitativa de razón

Fuente: Elaboración propia.

III. Metodología empleada

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Descriptivo

3.1.2. Nivel de investigación

Descriptiva

3.2. Población y muestra de estudio

Carretera de evitamiento Otuzco - Usquil progresiva 0+000.00 al 3+837.26 km.

3.3. Diseño de investigación

La presente investigación tiene un diseño no experimental – transversal – descriptivo simple, porque solo se recolectarán datos en campo y no se manipularán variables. La investigación responde al siguiente esquema: (Hernández, 2010)



Donde:

M: Área de la vía de evitamiento Otuzco.

O: Levantamiento topográfico para la carretera de evitamiento Otuzco.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

3.4.1. Técnica

Observación: Se aplicó esta técnica de reconocimiento para ver la manera estratégica de realizar los trabajos topográficos.

Levantamiento topográfico: Comprendió la ejecución en campo del procedimiento topográfico para la obtención de la información de planimetría y altimetría del tramo de carretera en estudio.

Evidencia en imágenes: Para consolidar los procedimientos realizados en ambos métodos se realizaron capturas de imágenes.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Para la investigación se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Ficha técnica para medición de tiempo
- Cotizaciones de los servicios
- Manuales para el diseño geométrico
- Fotografías
- GPS Navegador Garmin Map 64S
- Dron Phantom 4 Pro
- Estación Total Topcon OS105

3.5. Procesamiento y análisis de datos

El levantamiento fotogramétrico utilizará softwares propios de los drones especializados para procesar las imágenes y generar curvas de nivel. En esta oportunidad se utilizará el software Agisoft Professional, el producto de este programa se eleva al Civil 3D para verificar el levantamiento realizado. Se enumeran los pasos que se tuvieron en cuenta para el levantamiento fotogramétrico:

1. Reconocimiento de campo
2. Proceso de Planeamiento y análisis de gabinete
3. Proceso levantamiento geodésico (puntos de control y puntos foto control).
4. Proceso de vuelo con el Vehículo Aéreo No Tripulado-VANT.
5. Procesamiento cartográfico de la información registrada con el Vehículo Aéreo No Tripulado-VANT.

Para el levantamiento convencional se utilizará le Microsoft Excel para procesar la data procedente de la Estación Total. La estación total debe estar calibrado, con certificado de calibración menor a 6 meses. La información se compensará y completará de ser necesaria. Posteriormente esta información procesa se ingresa al software de diseño asistido por computadora Civil 3D, para generar curvas de nivel y verificar el levantamiento realizado.

1. Información recopilada
2. Reconocimiento del terreno
3. Movilización de brigadas
4. Plan de trabajo
5. Georreferenciación
6. Poligonal de apoyo topográfica
7. Cálculo de la red poligonal

Finalmente se realizó el análisis comparativo de los resultados obtenidos en el software Excel donde se ordenaron y elaboraron cuadros y gráficos que faciliten la comprensión de los mismos.

1. Comparación de los tiempos de levantamientos
2. Comparación de los costos de levantamiento
3. Comparación de la precisión

4. Presentación de resultados

4.1. Ubicación del proyecto

4.1.1. Ubicación política y geográfica

La zona de estudio, se ubica en el distrito de Otuzco, provincia de Otuzco, Departamento de La Libertad, encontrándose a una altitud de 3660 msnm.



Figura 4 Mapa de la provincia de Otuzco (Elaborado por los tesisistas)

La provincia de Otuzco está situada en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, al noroeste de la ciudad de Trujillo, en la parte central de la región La Libertad. Por su territorio discurren dos cuencas hídricas: la del río Chicama y la del río Moche.

Geográficamente, la provincia de Otuzco se ubica entre las coordenadas: Latitud Sur $7^{\circ} 53'54''$, longitud Este $78^{\circ} 33'45''$, longitud Meridional $78^{\circ}23'30''$.

La ciudad capital, del mismo nombre que la provincia, se asienta en un pequeño valle rodeado de elevaciones y quebradas; su ubicación geográfica la convierte en la llamada “puerta de entrada a la sierra liberteña”.

4.1.2. Extensión y altitud

La provincia de Otuzco tiene una superficie territorial de 2,110.77 km²; la mayoría de su territorio está comprendida dentro de la región geográfica “quechua” (entre los 2,000 a 3,000 metros sobre el nivel del mar), aun cuando existen zonas con mayor altura por encima de los 3000 metros sobre el nivel del mar, como Salpo, Pachín, Cerro Sango, Barro Negro, Los Andes, Miramar, Las Pampas de Cruz de Mayo, etc., además existen zonas de menor altura como Coina, Callancas, Samne, Charat, Los Peroles, etc.

4.1.3. Límites y accesos

La provincia de Otuzco limita por el:

Norte: con las provincias de Ascope y Gran Chimú.

Sur: con las provincias de Julcán y Santiago de Chuco.

Oeste: con las provincias de Sánchez Carrión y Cajabamba (de la región Cajamarca)

Este: con las provincias de Trujillo y Ascope.

El acceso a la capital de la provincia de Otuzco desde la ciudad capital de la región La Libertad, Trujillo, es a través de la carretera de penetración Trujillo- Huamachuco, con una pista asfaltada de doble vía, que cubre una distancia de 75 Km. desde la ciudad de Trujillo, y con un tiempo aproximado de viaje de 1.5 horas en ómnibus y 1.15 horas en auto.

A lo largo de los 28 Km., salen ramales con dirección a los distintos sectores, llámese caseríos, distritos y otras provincias de la periferia como Trujillo, Agallpampa, Mache, Julcán, Salpo, Carabamba, Charat, Callancas, Usquil, Coina, Chuquizongo y Huaranchal.

El medio de transporte más utilizado hoy en día son los vehículos motorizados ya sea automóviles, micros, camiones, camionetas y motos; además, para trasladarse a los caseríos que no cuentan con caminos carrozables, los pobladores de las áreas rurales siguen utilizando los diversos caminos de herradura a pie o en acémila.

4.1.4. Área

El área total de la zona de estudio fue de 124,904.00 m² (12.49 Ha); la carretera corresponde a 3,837.30 m de longitud.

4.1.5. Clima

Clima Templado: Hasta 2,800 m.s.n.m. Temperatura promedio de 13 °C a 22 °C.

4.1.6. Fauna

Presentó una fauna rica en variedad de animales nativos e introducidos por el hombre como: vacunos, ovinos, equinos, porcinos, caprinos, aves de corral, y animales domésticos como el perro y el gato.

4.1.7. Flora

Se identificaron cactus, espinos, retama, eucalipto, pinos, cipreses y otros. Presencia en menor cantidad de ichu, pajilla, valeriana, panisara, anís, quinual, menta, toronjil, manzanilla, orégano y muchas otras plantas que son utilizadas por sus propiedades curativas.

También se encontraron frutales como lima, naranja, granadilla, plátano, papayas, paltos, etc. Además, existen tubérculos como camote, oca, olluco, papa; y también cereales como: avena, trigo, etc.; productos de pan llevar como haba, lenteja, maíz; y hortalizas como rocoto, coles, zanahoria, etc.

4.1.8. Agua

La provincia de Otuzco se asienta en dos cuencas del sistema hidrográfico del Océano Pacífico que son: la cuenca del río Moche y la cuenca del río Chicama. Una serie de manantiales, pequeños ríos y quebradas discurren por las accidentadas vertientes sirviendo la mayoría de ellas para el riego de los cultivos y algunas como fuentes de agua para el consumo humano, además de tributar a los grandes ríos de estas dos cuencas que en la costa forman amplios valles muy productivos.

La característica común de estos ríos y quebradas de las partes altas y medias, es que son de caudal irregular durante los cinco primeros meses

del año; luego disminuyen enormemente en su caudal, y poco a poco muchos de ellos se convierte en cauces secos.

4.1.9. Características del terreno

La zona de estudio se halla dentro de lo que se considera como Sierra, con una Topografía accidentada, con flancos de pendiente pronunciado, laderas, quebradas, abras y pequeñas pampas.

El factor topográfico, edáfico y climático son los factores más limitantes que influyen en el desarrollo de los suelos. Teniendo en consideración estos factores los suelos se agrupan en:

Suelos moderadamente desarrollados, de tipo A/C coluvial. - Suelos formados a partir de sedimentos, coluviales elásticos y conforman la gran mayoría de las tierras agrícolas, tienen una fisiografía accidentada y agreste, relieve ondulado poco profundo o superficiales, textura media, buen drenaje, de reacción neutra ligeramente ácida, contenido de materia orgánica menor a 3.8%. Su potencial agrícola es moderado por estar cubiertos de pastos.

4.1.10. Vías de acceso

El acceso a la zona de estudio, fue a través de la carretera de penetración Trujillo- Huamachuco, con una pista asfaltada de doble vía, que cubre una distancia de 75 km desde la ciudad de Trujillo; y con un tiempo aproximado de viaje de 1.15 horas en camioneta.

4.2. Realizar el levantamiento topográfico fotogramétrico y con estación total de la vía de evitamiento Otuzco.

4.2.1. Levantamiento fotogramétrico

4.2.1.1. Del reconocimiento de campo

El reconocimiento tuvo una duración de medio día. Con fines de estimar el tiempo de vuelo y ver las condiciones del viento por las mañanas. El lugar se recorrió caminando. Este reconocimiento de campo también sirvió para el levantamiento con equipo topográfico, por lo que en cada tramo se irían anotando los detalles y los lugares estratégicos para el cambio de estación.

Tabla 3 Reconocimiento por tramos de la vía de evitamiento

Tramo	Vegetación	Viviendas	Infraestructura vial	Curvas y taludes
0+000 a 0+500	Escasa	Una vivienda en el inicio y un terreno con cerco perimétrico	No presenta	Presencia de curvas cerradas y abismo hacia el lado derecho
0+500 a 1+000	Área pequeña de pinos hacia el lado derecho	No presenta	Puente de 40 metros	Curvas muy cerradas. Libre de taludes.
1+000 a 1+500	Nula	Una pequeña vivienda de adobe	No presenta	No presenta curvas. Libre de taludes.
1+500 a 2+000	Área pequeña de pinos hacia el lado izquierda	Dos almacenes y 6 viviendas adyacentes a la vía	no presenta	Dos curvas. Libre de taludes.
2+000 a 2+500	Área media de pino hacia el lado izquierdo	No presenta	Puente de 50 metros	Curvas suaves. Talud hacia el lado derecho.
2+500 a 3+000	Escasa	20 viviendas adyacentes a la vía	No presenta	No presenta curvas. No presenta talud.
3+000 a 3+500	Pequeñas áreas de cultivos	30 viviendas adyacentes a la vía	No presenta	Curva suavizada. No presenta talud.

3+500 a 3+837.26	Presencia de árboles de baja altura.	No presenta	Puente (río Huangamarca)	No presenta curvas ni taludes.
---------------------	--	-------------	-----------------------------	--------------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2. Del proceso de Planeamiento y análisis de gabinete

Este proceso tuvo en cuenta la recopilación de trabajos anteriores realizados en las zonas, tales como expedientes técnicos y los planos correspondientes. Así mismo, se recopiló imágenes satelitales extraídas de Google Earth Pro, de esta manera se pudo conocer las vías de acceso a la zona de estudio, estimar los tiempos de vuelo, la planificación y preparación de los equipos, personal, seguridad y apoyo logístico a incluir en el trabajo.

Se denominó al área de trabajo vía de evitamiento y se densificó plan de vuelo. Los vuelos en general se planificaron basados en las características específicas.

Como inicialmente se desconocía las progresivas reales, en la Figura siguiente se presentan los dos tramos para cada vuelo realizado.

Tabla 4 Tramos de vuelo

Vuelo	Color	Tramo	Razón
1	verde limón	corto	presencia de vientos
2	rojo	largo	vientos moderados

Fuente: Elaboración propia

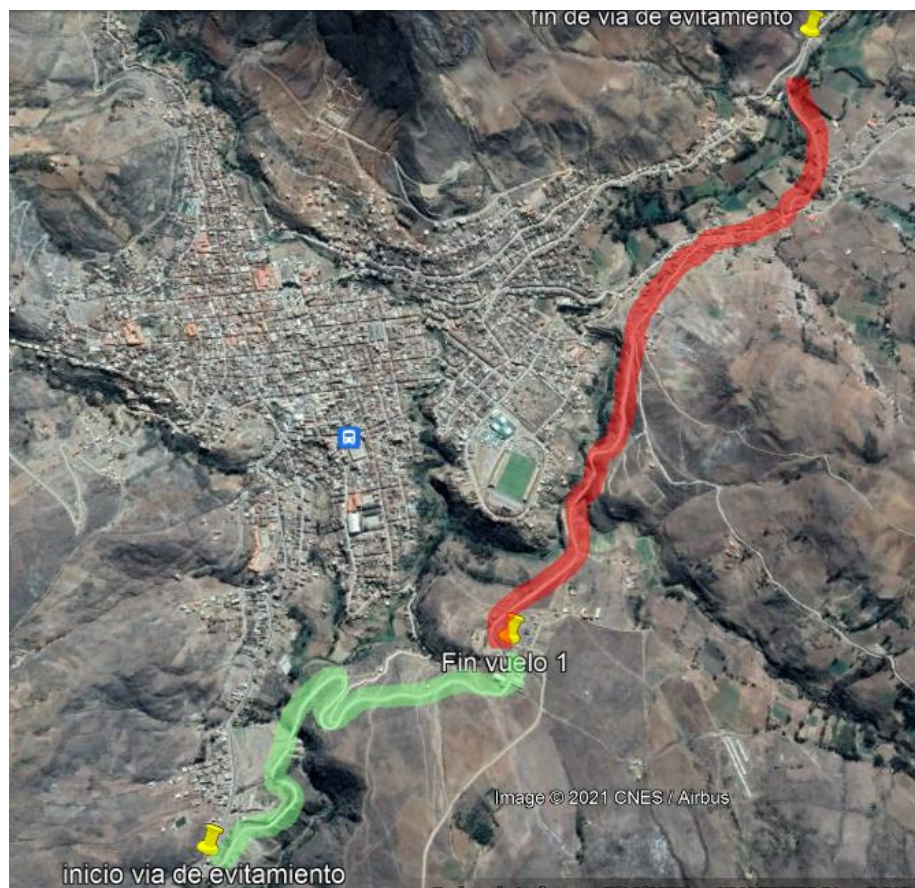


Figura 5 Vista satelital de la vía de evitamiento (Fuente: Google Earth)

4.2.1.3. Del proceso levantamiento geodésico (puntos de control y puntos foto control).

Con la planificación de los vuelos en gabinete, se procede a determinar los puntos a usar para colocar la base D-RTK2 de apoyo de campo.

Se procedió a la monumentación de los 02 puntos para la toma de coordenadas con la base Drtk2. Se procedió a la lectura de los 02 puntos para posteriormente lazar el dron en modo de vuelo ppk, así mismo las coordenadas de los puntos se utilizó para ingresar los puntos de partida de la estación total.

Figura 6 Número de puntos geodésicos

Tipo de puntos	Número de puntos	Base
Geodésicos	2	RTK

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

Tabla 5 Red geodésica puntos FCP

RED GEODESICA PUNTOS FCP				
COORDENADAS UTM WGS84				
ITEM	ESTE	NORTE	ELEVACION	CODIGO
1	768964.981	9124790.28	2665.112	PFC01
2	768529.49	9124527.33	2632.356	PFC02

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

4.2.1.4. Poligonal de apoyo

Tabla 6 Coordenadas de poligonal de apoyo

COORDENADAS DE POLIGONAL DE APOYO				
ITEM	ESTE	NORTE	ELEVACION	CODIGO
3	768190.8	9124167.53	2614.24	E-1
4	768218.002	9124201	2614.001	E-2
5	768240.775	9124160.77	2610.621	E-3
6	768442.319	9124335.2	2604.312	E-4
7	768421.151	9124378.58	2601.101	E-5
8	768398.283	9124449.63	2586.841	E-6
9	768448.029	9124609.73	2597.651	E-7
10	768511.842	9124663.15	2605.813	E-8
11	768560.916	9124652.1	2615.183	E-9
12	768502.256	9124556.78	2623.95	E-10
13	768577.365	9124595.59	2632.987	E-11
14	768807.498	9124638.14	2649.436	E-12
15	768874.156	9124655.82	2654.316	E-13
16	769009.123	9124688.46	2662.368	E-14
17	768948.329	9124764.14	2660.336	E-15
18	768949.31	9124809.16	2659.887	E-16
19	769094.099	9124925.85	2652.673	E-17
20	769219.982	9125285.37	2642.761	E-18
21	769319.009	9125602.2	2678.158	E-19
22	769484.33	9125858.9	2663.264	E-20
23	769532.761	9125907.87	2658.332	E-21
24	769678.556	9125922.35	2662.182	E-22
25	769766.574	9125972.01	2664.633	E-23
26	769770.55	9126012.04	2662.84	E-24
27	769827.682	9126038.08	2661.855	E-25
28	769857.514	9126112.02	2666.256	E-26
29	769835.802	9126222.17	2658.198	E-27
30	769766.047	9126312.79	2653.945	E-28

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

4.2.1.5. Del proceso de vuelo con el Vehículo Aéreo No Tripulado-VANT

Se realizó el levantamiento Fotogramétrico con el drone Phantom 4 RTK, para obtener una ortofoto de alta resolución, y nube de puntos densa. Se eligió la zona apropiada tomando en cuenta la pista de lanzamiento y la de aterrizaje, así como las obstrucciones naturales y culturales circundantes, con especial cuidado en la prevención de accidentes con obstáculos de árboles, postes de alta tensión, cerros montañosos, depresiones y vehículos que transitan en zona.

Tabla 7 Descripción de cada vuelo

Vuelo	Zona de salida	Zona de aterrizaje	Problemas
1	Explanada adyacente al inicio de la vía km 0+000	Explanada cercana a almacén km 1+480	Velocidad del viento
2	Explanada cercana a almacén km 1+480	Explanada adyacente al final de la vía km 3+837	No se presentó

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

4.2.1.6. Del procesamiento cartográfico de la información registrada con el Vehículo Aéreo No Tripulado-VANT

Los resultados del procesamiento de la información registrada del dron se presentan en la sección Anexos.

4.2.2. Levantamiento con estación total

4.2.2.1. Reconocimiento del terreno

Se realizó el recorrido donde se observaron anchos promedios de 7 a 7.30 m. Donde se evidencio la necesidad de variación de trazo respecto a lo planteado en el perfil revisado. En campo se observó fuertes pendientes en zonas de quebradas con densidad elevada de vegetación, barrancos con desniveles de 25 a 50 m, además de presencia frecuente de quebradas condicionantes. En el nuevo trazo se evitan los inconvenientes anteriores, además no se generarían problemas con comunidades y/o propietarios, garantizando viabilidad.

4.2.2.2. Movilización de brigadas

El traslado a la zona del área de estudio para cada una de las brigadas de topografía, implica el traslado del personal y equipos a la zona del proyecto, los cuales se realiza teniendo como punto de partida la oficina central del consorcio en la C.N Naranjal, desde este punto se desplazan las brigadas de topografía y Geodesia. Generalmente el recorrido se realiza a caminata y vía fluvial por el Rio Pachitea. Debido a la escasa existencia de caminos y trochas, las brigadas de Topografía y Geodesia se instalaron (acampar) en el recorrido del trazo para ganar tiempo en las respectivas labores.

4.2.2.3. Plan de trabajo

El propósito de este procedimiento fue establecer las secuencias de actividades y los aspectos generales de los trabajos topográficos aplicados en el terreno para la realización de un trabajo técnicamente correcto, minimizar los riesgos asociados y proteger el medio ambiente. Este procedimiento está confeccionado para la realización de los trabajos topográficos necesarios para el proyecto específico.

4.2.2.4. Georreferenciación

Se determinó 26 puntos de control geodésicos monumentados, halladas empleando receptores GNSS diferencial en modo estático. Una vez realizado el reconocimiento de campo, se estableció la ubicación de los puntos de control principal y se procedió a la Monumentación de 26 hitos principales en el sector comprendido del área de trabajo. Los hitos llevan la siguiente nomenclatura grabada **(HCO01114 /GPS 01 - GPS 02 - GPS 03 - GPS 04 - GPS 05 - GPS 06 - GPS-07 - GPS 08 - GPS 09 - GPS 10 – GPS 11 - GPS 12 - GPS 13 - GPS 14 - GPS-15 - GPS 16 – GPS 17 - GPS 18 - GPS 19 – GPS 20 - GPS 21 - GPS 22 - GPS 23 - GPS 24 - GPS 25 – GPS 26)** en una placa de bronce diseñada bajo las normas y requisitos por el IGN, además llevan un punto céntrico en la marca, el cual se tomará como referencia para el estacionamiento de los equipos topográficos.

Se procedió a la monumentación de 26 hitos principales en el sector comprendido del área de trabajo debidamente monumentados, estos

fueron construidos con concreto de resistencia de $f'c=175$ kg/cm² y con las dimensiones de 0.20 x 0.40 x 0.40 m.

La ubicación de los hitos se determinó en función a las características del terreno, seleccionando las áreas más seguras y adecuadas, considerando visibilidad, estabilidad del terreno, facilidad para la instalación de los equipos topográficos.

4.2.2.5. Cálculo de la red poligonal

El Cálculo de las coordenadas para cada punto de control de la red poligonal se generó en una hoja de cálculo en el programa Excel con normas y tolerancia de cierre.

Tabla 8 Cuadro de coordenadas de la red poligonal

PUNTO	ESTE	NORTE	ELEV	DESCRIPCION
EST-01	768192.462	9124164.53	2614.23	
EST-02	768218	9124201	2614	
EST-03	768240.775	9124160.77	2610.63	
EST-04	768442.319	9124335.2	2604.41	
EST-05	768421.151	9124378.58	2601.11	
EST-06	768398.283	9124449.63	2596.81	
EST-07	768448.029	9124609.73	2597.65	
EST-08	768511.842	9124663.15	2605.89	
EST-09	768560.916	9124652.1	2615.18	
EST-10	768502.256	9124556.78	2623.95	
EST-11	768577.365	9124595.59	2632.99	
EST-12	768807.498	9124638.14	2649.45	
EST-13	768874.156	9124655.82	2654.32	
EST-14	769009.123	9124688.46	2662.38	POLIGONAL DE APOYO
EST-15	768948.329	9124764.14	2660.34	
EST-16	768949.31	9124809.16	2659.89	
EST-17	769094.098	9124925.85	2652.68	
EST-18	769219.982	9125285.37	2642.76	
EST-19	769319.009	9125602.2	2678.16	
EST-20	769484.33	9125858.9	2663.2	
EST-21	769532.761	9125907.87	2658.33	
EST-22	769678.556	9125922.35	2662.18	
EST-23	769766.574	9125972.01	2664.63	
EST-24	769770.55	9126012.04	2662.83	
EST-25	769827.682	9126038.08	2661.85	
EST-26	769857.514	9126112.02	2666.26	
EST-27	769835.802	9126222.17	2658.29	

4.2.2.6. Los Bench Mark del levantamiento

Tabla 9 Bench Marck del levantamiento

BM	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m.s.n.m)	CARACTERÍSTICA DE LA MARCA	UBICACIÓN
01	9124172.64	768220.295	2613.23	Pintura Roja en roca fija	KM 0+000 – Lado izquierdo
02	9124476.51	768386.216	2591.05	Hito de concreto - Perno acerado	Km 0+500 Ramal 2 - Bello Horizonte
03	9124587.19	768620.058	2636.12	Roca fija	Tupuyo
04	9124799.31	768929.792	2659.89	Roca fija	Tupuyo
05	9125896.7	769650.909	2634.8	Losa de concreto	Tupuyo
06	9125896.7	769650.909	2662.32	Roca fija	Km 3+100 a lado derecho de Roca Fija
07	9126214.1	769827.834	2659.2	Roca Fija	Km 3+520 en Roca Fija con pintura roja

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

Las fichas correspondientes a los BM se presentan en la sección de Anexos.

4.3. Calcular el tiempo empleado para el levantamiento topográfico fotogramétrico y levantamiento topográfico con estación total la vía de evitamiento Otuzco

A continuación, se detallan los tiempos tomados para cada actividad, según el tipo de levantamiento.

Tabla 10 Tiempo empleado en el levantamiento fotogramétrico

Levantamiento fotogramétrico			
N°	Actividad	Tiempo (minutos)	Tiempo (horas)
1	Reconocimiento del terreno	172	2.9
2	Planificación de vuelo	24	0.4

3	Primer vuelo	22	0.4
4	Segundo Vuelo	35	0.6
5	Trabajo en gabinete	1200	20.0
Total		1453	24.2

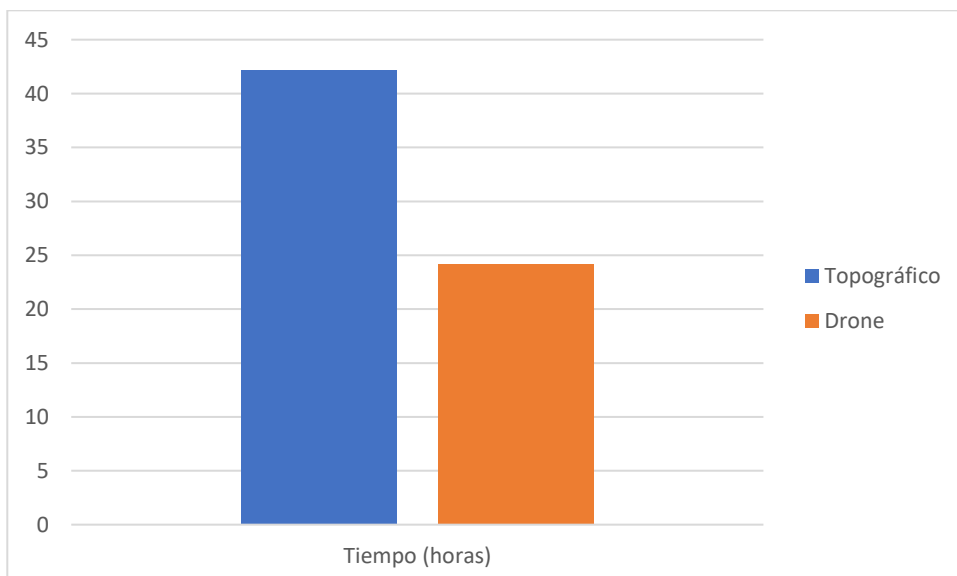
Fuente: Elaborado por los tesistas.

Tabla 11 Tiempo empleado en el levantamiento topográfico con estación total

Levantamiento topográfico con estación total			
N°	Actividad	Tiempo (minutos)	Tiempo (horas)
1	Reconocimiento del terreno	172	2.9
2	Planificación de levantamiento	33	0.6
3	Tramo km 0+000 a km 1+200	471	7.9
4	Tramo km 1+200 a 3+837.26	431	7.2
5	Trabajo en gabinete	1426	23.8
Total		2533	42.2

Fuente: Elaborado por los tesistas.

Gráfico 1 Tiempo con fotogrametría vs tiempo con estación total



Fuente: Elaborado por los tesistas.

4.4. Determinar los costos para el levantamiento topográfico fotogramétrico y levantamiento topográfico con estación total de la vía de evitamiento Otuzco

Tabla 12 Costos unitarios generados con levantamiento fotogramétricos

Partida	1.01 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRONE DJI PHANTOM 4RTK					
Rendimiento	m2/DIA	880.0000	EQ.	880.0000	Costo unitario directo por : m2	4.23
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0160	15.85	0.14
0101030000	PILOTO	hh	1.0000	0.0160	22.74	0.21
						0.35
Materiales						
02130300010006	YESO EN BOLSAS DE 16kg.	bol		0.0500	16.00	0.80
						0.80
Equipos						
03010000020002	DRONE DJI PHANTOM 4 RTK	hm	1.0000	0.0091	300.00	2.73
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.35	0.01
03010000020002	CAMIONETA HILUX 4X4	hm	1.0000	0.0091	37.50	0.34
						3.08

Fuente: Elaborado por los tesistas.

Partida	1.02 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACION TOTAL					
Rendimiento	m2/DIA	600.0000	EQ.	600.0000	Costo unitario directo por : m2	2.13
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0267	15.85	0.42
0101030000	OPERARIO TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0133	22.50	0.30
						0.72
Materiales						
02130300010006	YESO EN BOLSAS DE 18kg.	bol		0.0500	10.70	0.54
0231010001	MADERA TORNILLO	p2		0.0190	6.50	0.12
						0.66
Equipos						
03010000020002	ESTACION TOTAL	hm	1.0000	0.0133	18.75	0.25
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.72	0.02
03010000020002	CAMIONETA HILUX 4X4	hm	1.0000	0.0133	37.50	0.50
						0.75

Tabla 13 Costos unitarios generados con levantamiento con estación total

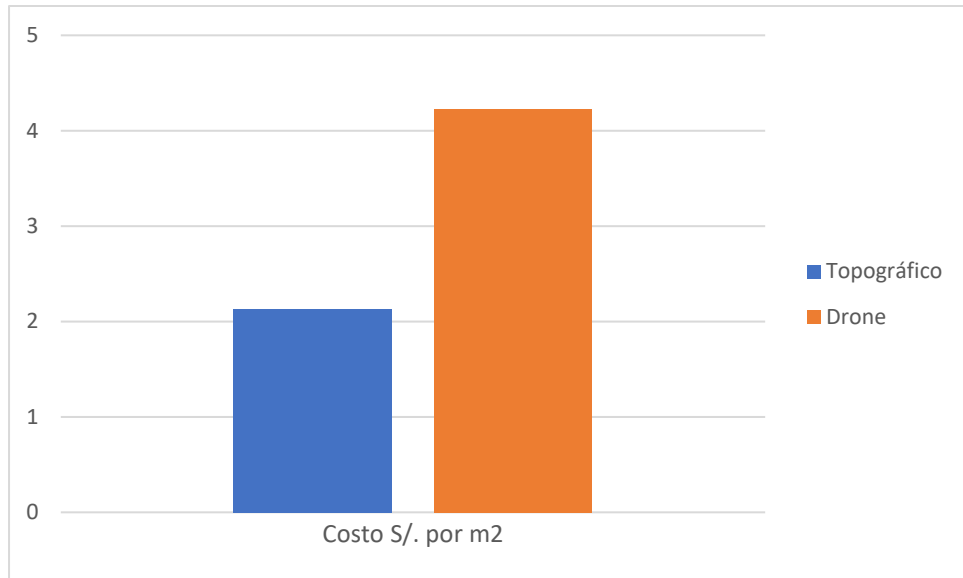
Fuente: Elaborado por los tesistas.

Tabla 14 Comparativo de costos unitarios

Tipo de Levantamiento	Costo unitario (S/) por m ²
Topográfico	2.13
Drone	4.23

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

Gráfico 2 Costo unitario de la fotogrametría vs costo unitario con estación total



Fuente: Elaborado por los tesisistas.

Tabla 15 Comparativo del costo total de cada método

Tipo de Levantamiento	Costo (S/)
Topográfico	62,353.19
Dron	123,828.16

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

4.5. Determinar la precisión de los levantamientos topográficos fotogramétrico y tradicional

El error se determinó a partir de la longitud del puente en la progresiva 0+540. Teniendo como prueba Gold estándar la medición del puente con wincha. Para este trabajo se utilizó una wincha de 50 metros. Fue positiva la poca presencia de viento y el apoyo de la wincha en una superficie nivelada.

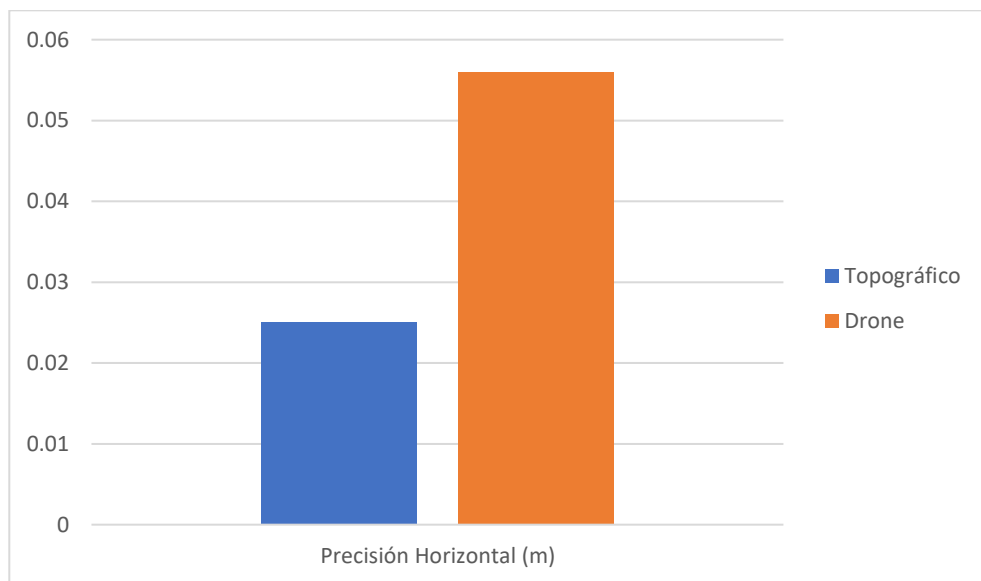
Esta medición arrojó un valor de 30.40 metros. Por su parte, el procedimiento realizado con estación total arrojó 30.43 metros y el dron 30.46 metros. Por lo que partir de estas mediciones se obtuvo una idea del error horizontal.

Tabla 16 Error horizontal según tipo de levantamiento

Tipo de Levantamiento	Error Horizontal (m)
Topográfico	0.03
Dron	0.06

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

Gráfico 3 Precisión horizontal fotogramétrica vs precisión horizontal con estación total



Fuente: Elaborado por los tesisistas.

4.6. Determinar el método topográfico más óptimo para el diseño geométrico de la carretera de evitamiento progresiva 0+000.00 al 3+837.26 km – Otuzco, La Libertad

Para la determinación del método más óptimo se ha realizado una ponderación teniendo en cuenta los parámetros en estudio.

$$\text{Indicador ponderado negativo} = 0.3 T + 0.5 (E * 100) + 0.2 (CU * 10)$$

T: Tiempo del levantamiento (mayor relevancia)

E: Error horizontal (relevancia media)

CU: Costo unitario (menor relevancia)

Tabla 17 Rendimiento ponderado negativo

Parámetros evaluados	Tipo de Levantamiento	
	Topográfico	Dron
Tiempo (horas)	42.2	24.2
Costo unitario (S/) por m	2.13	4.23
Error Horizontal (m)	0.03	0.06
Rendimiento negativo p.	18.42	18.72

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

4. Discusión de los resultados

La mala elección del equipo para la realización de un estudio topográfico generará costo elevados y una inadecuada inversión. Las ampliaciones de plazo y los adicionales serán necesarios si el terreno no ha sido correctamente representado para la ejecución de una obra. Debido a esto, es necesario tener evidencias de los equipos que pueden ser admitidos en determinado estudio, teniendo en cuenta el costo, el tiempo y la precisión. En esto se coincide con García (2020), quien expresa en su trabajo la necesidad de esta evidencia. Los procedimientos para el uso son los mismos, sin embargo, se concuerda con este autor en que hay variables que pueden afectar la calidad de los resultados y la practicidad del trabajo. García (2020) hace referencia, principalmente, al tipo de obra y al clima. En ese sentido, el trabajo realizado dista de los resultados obtenidos por García (2020) en cierto modo, pese a que, han sido realizados con los mismos equipos (marcas y modelos) y la misma metodología; y, justamente, la diferencia radica en que nuestro trabajo ha sido realizado en la zona sierra y

el trabajo de García (2020) en la zona costa. Además de lo mencionado, en nuestro caso se aplicó a una vía de evitamiento, mientras que el otro trabajo, en el levantamiento de un tramo del río Moche. Las condiciones climáticas y la accesibilidad son relevantes en los efectos de la data obtenida, como también concluye Pedraza (2019). Adicionalmente, se puede coincidir que el equipo Phantom 4 RTK marca DJI es un equipo muy utilizado, como lo afirma también Ayala (2018), Pedraza (2019) e Hilario (2015).

Con respecto al tiempo, se ha revisado los resultados de otros trabajos referentes a estación total versus dron. García (2020) encontró que para los 1500 metros del río Moche, el trabajo con el dron Phantom 4 demandó 40 horas, mientras que con la estación Topcon ES-105, 56 horas; ocupando mayor cantidad de horas el procesamiento de la información en gabinete (21 horas para el caso del dron). Hilario (2015) tuvo un tiempo de 11 horas y 45 minutos para el trabajo total con estación total, mientras que con el dron DJI Phantom 2 vision+ tardó 24 horas, en este caso cabe mencionar que existió una diferencia bastante llamativa en el procesamiento en gabinete, siendo solo de 2 horas y 15 minutos para la estación total y para el dron un tiempo de 21 horas y 15 minutos utilizando el software Pix4D Mapper. En el caso de Pedraza (2019) que realizó el trabajo topográfico aplicado a la huaca Aznapuquio, la estación total Leica Flexline TS06 5" plus tardó un tiempo de 9 horas mientras que para el dron DJI Phantom 4 Pro v. 2.0, un tiempo de 8 horas; si se analiza respecto al tiempo total, la diferencia no es tan grande, sin embargo, si comparamos el tiempo en campo con la estación total se demoró 6 horas y con el dron 1 hora, y el procesamiento en gabinete 3 y 7 horas, respectivamente. Finalmente, en el trabajo de Ayala (2018) se tiene que utilizando estación total el trabajo en campo duró 15 horas y 50 minutos y utilizando el dron DJI Phantom, un tiempo de 45 minutos; en ambos casos el procesamiento en gabinete de la información tuvo una duración de 4 horas según el autor. Teniendo en cuenta los antecedentes y los resultados de este trabajo, es una realidad que los tiempos de trabajo en campo con dron son mucho menores que los de la estación total, sin importar el tipo de estudio (sea canales, río, carretera, área, etc.); sin embargo, en algunos casos, el tiempo que se ocupa en gabinete para el procesamiento compensa el tiempo ahorrado en campo ya que exige un tiempo mayor, Para el caso de esta investigación, teniendo en cuenta que fue una vía de evitamiento, los tiempos de procesamiento de información en gabinete son similares.

En cuanto a los costos, el presente trabajo determinó que el levantamiento con estación total resultó mucho más barato, con una diferencia de 2000 soles, aproximadamente, Estos resultados solo coinciden con Pedraza (2019) que obtuvo un costo de 560 soles para el trabajo con estación total y 1030 soles con dron. Mientras que el resto de autores, coinciden en que el trabajo con estación total resulta más costoso. García (2020) obtuvo 4200 soles con estación total y 3280 soles con dron; Hilario (2015), 1400 soles y 700 soles; Ayala (2018), 1713 y 403 soles. Esta diferencia en las tendencias, se debe al tipo de trabajo que se vaya a realizar, en algunos casos el trabajo con estación total se hace más caro debido a la dificultad en el acceso o la visibilidad, debido a presencia de vegetación, siendo necesario una mayor cantidad de puntos de cambio.

Existe evidencia suficiente en los antecedentes para enunciar que el levantamiento con estación total resulta tener menor error y por ende mayor precisión que el dron. Esto coincide con los resultados obtenidos en nuestro trabajo, así como los de Pedraza (2019) en donde se nota que el levantamiento con dron obtuvo un error de 0.030 m y el levantamiento con estación un error del 0.013 m; por su parte, García (2020) encontró una precisión de 0.0424% m para el levantamiento con estación Topcon ES-105, mientras con el dron la precisión fue de 1.96%, generando errores muy por encima de los permitidos.

CONCLUSIONES

- Los levantamientos con estación total y el dron Phantom 4 RTK DJI fueron realizados en la vía de evitamiento de Otuzco de la progresiva 0+000 a 3+837.26 con dirección noreste, ubicada al lado derecho de la ciudad de Otuzco, provincia de Otuzco, región La Libertad; siguiendo los procedimientos adecuados para la obtención de información con la mayor precisión, siendo detallistas en el registro de los parámetros considerados en la comparación.
- Se determinó un tiempo de trabajo de campo y gabinete de 42.2 horas para el levantamiento topográfico, mientras que usando el dron Phantom 4 RTK, DJI el tiempo fue de 24.2 horas. Es decir, el tiempo empleado por la metodología del dron Phantom representa el 57.35% del tiempo de trabajo ocupado por la metodología del levantamiento topográfico.
- El costo unitario para el levantamiento con estación total fue de 2.13 soles por metro cuadrado y el trabajo hecho con el dron Phantom 4 RTK DJI de 4.23 soles por metro cuadrado. El costo total de la primera metodología asciende a 62,353.19 soles, mientras que la otra metodología a 123,828.16 soles. Es decir, el costo total del levantamiento topográfico representa el 50.35 % del costo total del levantamiento con dron, para este proyecto.
- Se encontró errores aceptables en ambos casos (≤ 0.06 m), según el cuadro 6.7 de Tolerancias para trabajos de levantamientos topográficos del Manual de Diseño de Carreteras De Bajo Volumen; sin embargo, el dron Phantom 4 RTK DJI mostró mayor error horizontal en el levantamiento de la vía de evitamiento de Otuzco con 0.06 m y el levantamiento con estación total de 0.03 m. Es decir, el error de la estación total representa el 50% que el mostrado por el dron.
- Se determina que el procedimiento realizado con la estación topográfica termina siendo la opción más óptima dado que obtuvo el menor indicador ponderado negativo de 18.42 contra 18.72 del procedimiento con dron, es decir, el levantamiento con estación total se muestra 98.39 % más óptima que el levantamiento con dron. Sin embargo, al ser una vía de kilometraje tan largo resultó conveniente la estación total, pero en el caso de vías de mayor kilometraje se debe realizar un nuevo análisis ya que será más conveniente el uso del dron, ya que con la estación total es seguro que los gastos generales se incrementarían a sobremanera.

RECOMENDACIONES

- El planeamiento es de vital importancia en los vuelos con dron, por lo que se recomienda realizar un itinerario adecuado, según las variables climatológicas de la zona según la hora y la estación del año.
- Se recomienda complementar esta investigación teniendo en cuenta otras marcas y modelos de dron, con la finalidad de buscar otro con mayor precisión para las mismas condiciones, pero con un precio similar al usado en esta investigación.
- Se recomienda la verificación en campo de los máximos errores permisibles de cierre vertical y angular en los trabajos realizados con estación total, para evitar la repetición del proceso.
- Se recomienda tener actualizados los certificados de calibración de los equipos a usar en un levantamiento topográfica.
- Es conveniente la certificación al menos de un punto de control geodésico para que la ubicación del proyecto sea real. Así mismo, la búsqueda de BM que hayan sido colocados por el Instituto Geográfico Nacional para ofrecer una garantía en los errores verticales y horizontales.
- Se recomienda la revisión de la influencia magnética en el caso del levantamiento con dron Phantom 4 RTK DJI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayala, M. (2018). Evaluación de levantamientos topográficos con dron (dji Phantom 4 pro) y estacion total, quebrada señor de Quinuapata del distrito de Ayacucho, Perú 2018. Tesis para optar por el título de ingeniero civil. Universidad Privada de Trujillo.

Claros, R., Guevara, A. & Pacas, N. (2016). *Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad de El Salvador.

Fuentes, J. (2012). *Topografía*. México: Red tercer milenio S.C.

García, U. & Polo, O. (2020). *Análisis comparativo de los levantamientos topográficos utilizando dron Phantom 4 y estación total Topcon es-105 en el río Moche, Trujillo 2019*. Tesis para optar por el título de ingeniero civil. Universidad Nacional de Trujillo.

Huera, J. (2017). *Sistema aéreo de drones para mejorar el levantamiento topográfico de los predios de la ciudad de Tulcán*. Tesis para optar por el título de Ingeniería en Sistemas e Informática. Universidad Regional Autónomas de Los Andes.

León, D. (2018). *Uso de cuatro métodos topográficos de recolección de datos con el objetivo de evaluar la precisión y costos de cada uno. Caso real taludes de la vía E35 Colibrí – Pifo, Sector Km 20 – Km 24*. Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

León, W. (2012). *Estudio comparativo de la caracterización topográfica con escáner láser y con métodos tradicionales de los taludes del Paso Lateral de Ambato*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad Internacional del Ecuador.

Mata, E. (2015). *Análisis, mejora y automatización de métodos de apoyo para fotogrametría de objeto cercano*. Tesis doctoral. Universidad de Jaén.

Parra, R. (2019). *Modelo analítico de los parámetros para la fotogrametría con drones en obras viales*. Tesis para optar por el título de Magíster en Ingeniería civil. Universidad Peruana Los Andes.

Paucar, A. (2019). *Aplicación de fotogrametría digital de objeto cercano en infraestructura mina, proyecto minero Las Bambas – Apurímac*. Tesis para optar por el título de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Pedraza, A (2019). *Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio, Los Olivos – 2019*. Tesis para optar por el título de ingeniero civil. Universidad Cesar Vallejo.

Rabanal, D. (2011). *Integración de un sistema UAV con control autónomo en un equipo aéreo para agricultura de precisión*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ruales, D. (2018). *Pertinencia del uso de drones en la caracterización geoespacial del módulo dos junta de agua de riego de la comuna Morlán, Imbabura*. Tesis para optar por el título de magíster en gestión integral de cuencas hidrográficas. Universidad Técnica del Norte.

Sánchez, I. (2017). *Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento topográfico con dron en la Plaza San Luis – 2017*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad César Vallejo.

Sánchez, A. & Osorio, A. (2016). *Comparación de los métodos topográficos aplicados en la construcción de túneles, utilizando el método convencional y la tecnología escáner laser 3D (ELT)*. Tesis para optar por el título de Tecnólogo en Topografía. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Santamaría, J. (2019). *Comparación técnica económica utilizando drones y estación total para el diseño geométrico de carreteras, centro poblado Cruz del Médano – Mórrope*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad Cesar Vallejo.

Tacca, H. (2015). *Comparación de resultados obtenido de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Topógrafo y Agrimensor. Universidad Nacional del Altiplano.


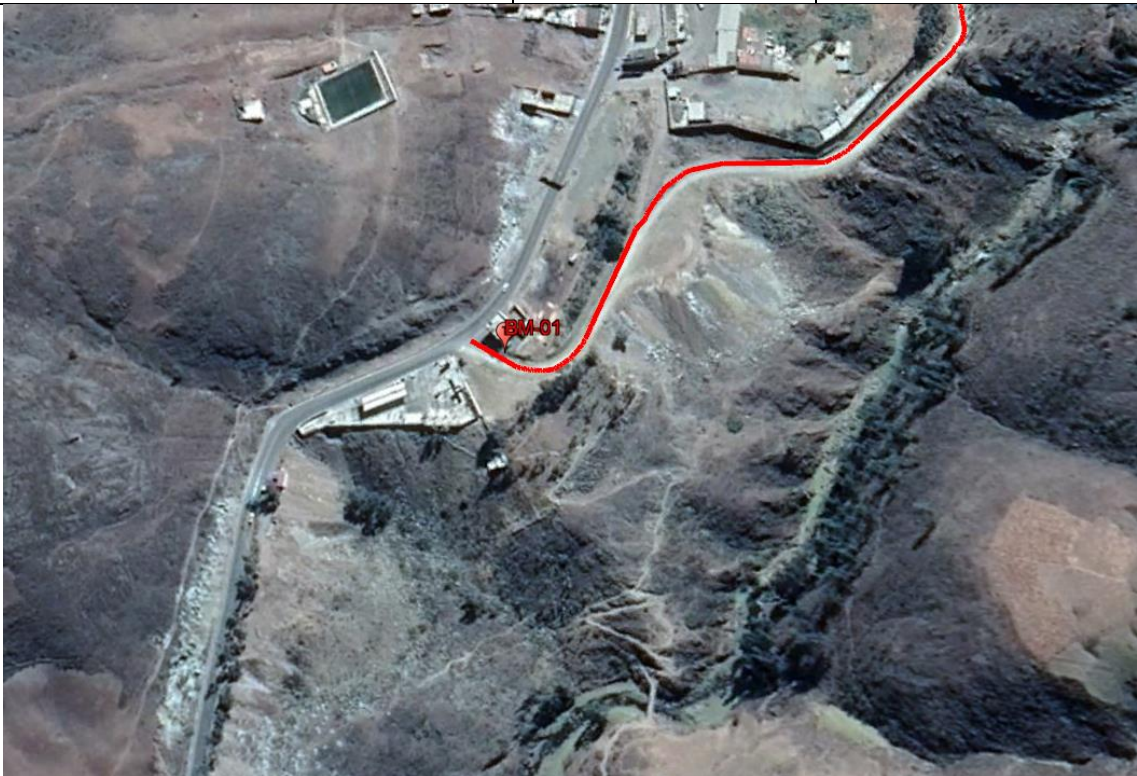
Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones. (2005). *Manual de prácticas de topografía y cartografía*. España: Santamaría, J. & Sanz, T.

Universidad de Extremadura. Servicio de Publicaciones. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. España: Quirós, E.

Villarreal, J. (2015). *Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados (UAV) respecto a la densidad de puntos de control*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica Particular de Loja.

ANEXOS

Anexos 1 Descripción monográfica del punto BM01

 UPAO	DESCRIPCION MONOGRAFICA DEL PUNTO	
	BM 01	
<u>NOMBRE:</u> BM 01	<u>LOCALIDAD:</u> OTUZCO	<u>ESTABLECIDO POR:</u> DIEGO BEJARANO
<u>UBICACIÓN:</u> KM 0+000 – LADO IZQUIERDO		<u>CARACTERISTICAS DE LA MARCA:</u> PINTURA ROJA EN ROCA FIJA
Coordenadas UTM - Datum WGS 84		
<u>NORTE (Y)</u> 9124172.644	<u>ESTE (X)</u> 768220.295	<u>COTA ABSOLUTA (Z)</u> 2613.23 m.s.n.m
		
<u>DESCRIPCION:</u>	<u>HITO:</u> ROCA FIJA	

El punto se encuentra ubicado en la progresiva 0+000, PINTADO CON PINTURA ROJA EN UNA ROCA FIJA		
<u>DESCRITA / RECUPERADA POR:</u>	<u>REVISADO:</u>	<u>JEFE PROYECTO:</u>

Fuente: Elaboración propia

Anexas 2 Descripción monográfica del punto BM02

 UPAO		DESCRIPCION MONOGRAFICA DEL PUNTO	
		BM 02	
<u>NOMBRE:</u> BM 02		<u>LOCALIDAD:</u> OTUZCO	<u>ESTABLECIDO POR:</u> DIEGO BEJARANO
<u>UBICACIÓN:</u> KM 0+500 RAMAL 2 - BELLO HORIZONTE		<u>CARACTERISTICAS DE LA MARCA:</u> HITO DE CONCRETO – PERNO ACERADO	
Coordenadas UTM - Datum WGS 84			
<u>NORTE (Y)</u> 9124476.514	<u>ESTE (X)</u> 768386.216	<u>COTA ABSOLUTA (Z)</u> 2591.05 m.s.n.m	
			
		<u>HITO:</u>	

<u>DESCRIPCION:</u>		<u>ROCA FIJA</u>
El punto se encuentra ubicado en la progresiva 0+500, es una ROCA FIJA CON PINTURA DE COLOR ROJA.		
<u>DESCRITA / RECUPERADA POR:</u>	<u>REVISADO:</u>	<u>JEFE PROYECTO:</u>

Fuente: Elaboración propia

Anexos 3 Descripción monográfica del punto BM03



	DESCRIPCION MONOGRAFICA DEL PUNTO	
	BM 03	
<u>NOMBRE:</u> BM 03	<u>LOCALIDAD:</u> OTUZCO	<u>ESTABLECIDO POR:</u> DIEGO BEJARANO
<u>UBICACIÓN:</u> TUPUYO		<u>CARACTERISTICAS DE LA MARCA:</u> ROCA FIJA
Coordenadas UTM - Datum WGS 84		
<u>NORTE (Y)</u> 9124587.193	<u>ESTE (X)</u> 768620.058	<u>COTA ABSOLUTA (Z)</u> 2636.12 m.s.n.m



<u>DESCRIPCION:</u>		<u>HITO:</u> <u>ROCA FIJA</u>
El punto se encuentra ubicado en la progresiva 1+060N AL COSTADO DERECHO DE LA VIA DE EVITAMIENTO EN ROCA FIJA.		
<u>DESCRITA / RECUPERADA POR:</u>	<u>REVISADO</u>	<u>JEFE PROYECTO:</u>

Fuente: Elaboración propia



Anexos 4 Descripción monográfica del punto BM04

 UPAO	DESCRIPCION MONOGRAFICA DEL PUNTO	
	BM 04	
<u>NOMBRE:</u> BM 04	<u>LOCALIDAD:</u> TUPUYO	<u>ESTABLECIDO POR:</u> DIEGO BEJARANO
<u>UBICACIÓN:</u> TUPUYO		<u>CARACTERISTICAS DE LA MARCA:</u> ROCA FIJA
Coordenadas UTM - Datum WGS 84		
<u>NORTE (Y)</u> 9124799.312	<u>ESTE (X)</u> 768929.792	<u>COTA ABSOLUTA (Z)</u> 2659.89 m.s.n.m
		

<p align="center"><u>DESCRIPCION:</u></p> <p align="center">El punto se encuentra ubicado en la progresiva 1+500, ALADO IZQUIERDO DE LA VIA DE EVITAMIENTO WN ROCA FIJA</p>		<p align="center"><u>HITO:</u></p> <p align="center"><u>ROCA FIJA</u></p>
<p><u>DESCRITA / RECUPERADA POR:</u></p>	<p><u>REVISADO:</u></p>	<p><u>JEFE PROYECTO:</u></p>

Fuente: Elaboración propia

Anexos 5 Descripción monográfica del punto BM05

 UPAO		DESCRIPCION MONOGRAFICA DEL PUNTO	
		BM 05	
<u>NOMBRE:</u> BM 05	<u>LOCALIDAD:</u> TUPUYO	<u>ESTABLECIDO POR:</u> DIEGO BEJARANO	
<u>UBICACIÓN:</u> TUPUYO		<u>CARACTERISTICAS DE LA MARCA:</u> LOZA DE CONCRETO	
Coordenadas UTM - Datum WGS 84			
<u>NORTE (Y)</u> 9125896.698	<u>ESTE (X)</u> 769650.909	<u>COTA ABSOLUTA (Z)</u> 2634.80 m.s.n.m	
			
			<u>HITO:</u>

<u>DESCRIPCION:</u>		<u>PINTADO EN LOZA DE CONCRETO</u>
El punto se encuentra ubicado en la progresiva 2+020 EN ESQUINA DE LOZA DE CONCRTEO ALADO IZQUIERDO DEL EJE DE VIA.		
<u>DESCRITA / RECUPERADA POR:</u>	<u>REVISADO:</u>	<u>JEFE PROYECTO:</u>

Fuente: Elaboración propia

Anexos 6 Descripción monográfica del punto BM06

 UPAO	DESCRIPCION MONOGRAFICA DEL PUNTO	
	BM 06	
<u>NOMBRE:</u> BM 06	<u>LOCALIDAD:</u> RARAMON CASTILLA	<u>ESTABLECIDO POR:</u> DIEGO BEJARANO
<u>UBICACIÓN:</u> SE ENCUENTRA UBICADO A LA ALTURA DE LA PROGRESIVA 3+100.0 ALADO DERECHO EN UNA ROCA FIJA		<u>CARACTERISTICAS DE LA MARCA:</u> ROCA FIJA
Coordenadas UTM - Datum WGS 84		
<u>NORTE (Y)</u> 9125896.698	<u>ESTE (X)</u> 769650.909	<u>COTA ABSOLUTA (Z)</u> 2662.32 m.s.n.m




<u>DESCRIPCION:</u> El punto se encuentra ubicado en la.		<u>HITO:</u> <u>ROCA FIJA</u>
<u>DESCRITA / RECUPERADA POR:</u>	<u>REVISADO:</u>	<u>JEFE PROYECTO:</u>

Fuente: Elaboración propia

Anexos 7 Descripción monográfica del punto BM07

 UPAO	DESCRIPCION MONOGRAFICA DEL PUNTO	
	BM 07	
<u>NOMBRE:</u> BM 07	<u>LOCALIDAD:</u> RAMON CASTILLA	<u>ESTABLECIDO POR:</u> <u>DIEGO BEJARANO</u>
<u>UBICACIÓN:</u> ALTURA DEL KM 3+520.00 EN ROCA FIJA PINTADO CON PINTURA ROJA		<u>CARACTERISTICAS DE LA MARCA:</u> ROCA FIJA
Coordenadas UTM - Datum WGS 84		

<p align="center"><u>NORTE (Y)</u></p> <p align="center">9126214.098</p>	<p align="center"><u>ESTE (X)</u></p> <p align="center">769827.834</p>	<p align="center"><u>COTA ABSOLUTA (Z)</u></p> <p align="center">2659.20 m.s.n.m</p>
		
<p align="center"><u>DESCRIPCION:</u></p> <p align="center">El punto se encuentra ubicado en la progresiva 3+520, LADA IZQUIERDO DE LA VIA DE EVITAMIENTO EN ROCA FIJA.</p>		<p align="center"><u>HITO:</u></p> <p align="center"><u>ROCA FIJA</u></p>
<p><u>DESCRITA / RECUPERADA POR:</u></p>	<p><u>REVISADO:</u></p>	<p><u>JEFE PROYECTO:</u></p>

Fuente: Elaboración propia

Anexos 8 Certificado de calibración



TOPOGRAF PERÚ SRL
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Y SERVICIO TÉCNICO

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°0001591-20

SOLICITANTE: GRUPO ZENIT INGENIEROS & CONSULTORES S.A.C.
RUC: 20557463039

EQUIPO: ESTACIÓN TOTAL **PRECISIÓN:** ±5"
MARCA: LEICA **AUMENTO:** 30X
MODELO: TS-06 POWER R400 **LECTURA MIN.:** 01" / 05"
N.º DE SERIE: 1314092 **ALCANCE EDM:** 4000m C/P 400m S/P

FECHA DE CALIBRACIÓN: 10 DE SETIEMBRE DEL 2020
FECHA DE PRÓXIMA CALIBRACIÓN: 10 DE MARZO DEL 2021

TOPOGRAF PERÚ S.R.L. Certifica que el equipo topográfico descrito cumple con las especificaciones técnicas del fabricante y los estándares internacionales establecidos (DIN 18723)

EQUIPO DE CALIBRACIÓN UTILIZADO:

EQUIPO/MODELO	MARCA	MODELO	SERIE
SET COLIMADORES	SOUTH	NCS-1	ST-549296

METODOLOGIA APLICADA EN LA TRAZABILIDAD DE LOS PATRONES:

Para controlar y calibrar los ángulos se contrastan con un SET DE COLIMACIÓN con tubos de enfoque paralelos de 30X y en

