

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Análisis comparativo de la precisión de un levantamiento topográfico mediante drone y los métodos convencionales para la carretera Karcatera-Abancay-2023

Asesor:

MSc. Maldonado Mendivil, Ángel

Autor:

Bach. Choque Huahuamamani, Alexander

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2024



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

ACTA DE EXAMEN DE TITULACIÓN N°008-2024-EPIC-FI- UTEA- SA

Reunidos el Jurado Evaluador constituido por los señores Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes:

- | | |
|-------------------------------------|--------------|
| ➤ Ph.D. VASQUEZ RAMÍREZ, Abbon Alex | PRESIDENTE |
| ➤ Dra. ORTEGA MENZALA, Eliana | DICTAMINANTE |
| ➤ Ing. GAMARRA MOTA Rubén | REPLICANTE |

y el (la) postulante al TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (a) CIVIL,
Bachiller: **CHOQUE HUAHUAMAMANI, Alexander,**
código de matrícula N°201310483-J.

Ha cumplido con las exigencias del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes, aprobado mediante resolución de consejo Universitario N°1870-2023-U-TEA-CU, de fecha 03 de julio del 2023, respecto a la sustentación de tesis, para optar al título profesional de Ingeniero Civil.

SUSTENTACIÓN DE TESIS titulado: "Análisis comparativo de la precisión de un levantamiento topográfico mediante drone y los métodos convencionales para la carretera Karcatera- Abancay-2023", habiendo aprobado con la nota de once (11).

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 261.

Abancay, 08 de abril 2024.


Ph.D. VASQUEZ RAMÍREZ, Abbon Alex
PRESIDENTE


Dra. ORTEGA MENZALA, Eliana
DICTAMINANTE


Ing. GAMARRA MOTA Rubén
REPLICANTE

Análisis comparativo de la precisión de un levantamiento topográfico mediante Drone y métodos convencionales para la carretera Karkatera - Abancay - 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	19%	1%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	pdfcoffee.com Fuente de Internet	1%
4	fcf.unse.edu.ar Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
6	www.gob.mx Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	oldri.ues.edu.sv Fuente de Internet	1%

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor	
Apellidos y nombres	: Choque Huahuamamani Alexander
Tipo de documento de identidad	: Dni
Número de documento de identidad	: 72275224
URL ORCID	: No aplica
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: MSc. Maldonado Mendivil Ángel
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 06788424
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-9002-1910
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería civil
Línea de investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: Abril 2023 - abril 2024 (un año)
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 19%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/Ford# 2.01.01

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, la fuente eterna de sabiduría y guía, en cada paso de esta travesía.

A mi madre querida, mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional, que este logro sea también un tributo a tu sacrificio y a la fé que has depositado en mí, y cada página de esta tesis lleva impreso el amor y la enseñanza que me has brindado.

AGRADECIMIENTOS

En este momento de logro y gratitud, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, cuya guía constante ha iluminado mi camino académico y personal. Agradezco a mi madre, mi fuente inagotable de amor y apoyo, a mis familiares, gracias por su aliento y compañía en cada paso.

A mi Asesor de tesis MSc. Ángel Maldonado Mendivil, agradezco su orientación experta y paciencia constante. Su sabiduría ha sido fundamental en este viaje académico. A cada uno de ustedes, les debo este logro y celebro este éxito con profundo agradecimiento.

RESUMEN

El presente estudio tiene como fin analizar la variabilidad de la precisión entre un levantamiento topográfico realizado con una estación total y un equipo aéreo no tripulado (drone) en el sector de Karcatera (centro poblado), de la provincia de Abancay del departamento de Apurímac 2023. La metodología del presente estudio corresponde al diseño no experimental, nivel descriptivo, de tipo explicativa y enfoque cuantitativo. La población de estudio estuvo dada en 4.6 km de carretera del total de la carretera de Karcatera, partiendo desde el centro poblado de Karcatera hacia Huanipaca. Los resultados obtenidos fueron favorables hacia el drone.

Palabras clave: Precisión, estación total, levantamiento topográfico, drone, equipo aéreo no tripulado, tiempo, costo, comparativa, eficiencia.

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the variability of precision between a topographic survey carried out with a total station and an unmanned aerial equipment (drone) in the Karcatera sector (centro poblado), in the province of Abancay, department of Apurímac 2023. The methodology of this study corresponds to the non-experimental design, descriptive level, applied type and quantitative approach. The study population was located on 4.6 km of the total Karcatera highway, starting from the town center of Karcatera towards Huanipaca. The results obtained were favorable towards the drone.

keywords: Precision, total station, topographic survey, drone, unmanned aerial equipment, time, cost, comparative, efficiency.

ÍNDICE GENERAL

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen y palabra clave.....	vii
Abstract y key words.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
ACRÓNIMOS.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1. Realidad problemática.....	20
1.2. Identificación y formulación del problema.....	21
1.2.1 Problema general.....	22
1.2.2 Problemas específicos.....	22
1.3 Justificación.....	23
1.4 Objetivos.....	24
1.4.1 Objetivo general.....	24
1.4.2 Objetivos específicos.....	24
1.5 Delimitación de la investigación.....	24
1.5.1 Espacial.....	24

1.5.2 Temporal.....	24
1.5.3 Social.....	24
1.5.4 Conceptual.....	25
1.6 Viabilidad de la investigación.....	25
1.7 Limitaciones de la investigación	25
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	27
2.1 Antecedentes de investigación.....	27
2.1.2 Antecedentes a nivel internacional.....	27
2.1.2 Antecedentes a nivel nacional.....	32
2.1.3 Antecedentes a nivel regional y local.....	37
2.2 Bases teóricas.....	38
2.3 Marco conceptual.....	75
CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	78
3.1 Hipótesis.....	78
3.1.1 Hipótesis general.....	78
3.1.2 Hipótesis específicas.....	78
3.2 Método.....	79
3.3 Tipo de investigación.....	79
3.4 Nivel o alcance de la investigación.....	79
3.5 Diseño de la investigación.....	79
3.6 Operacionalización de variables.....	80
3.7 Población, muestra y muestreo.....	83
3.8 Técnica e instrumento.....	85
3.9 Consideraciones éticas.....	87
3.10 Procedimiento estadístico.....	88

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION	89
4.1 Resultados.....	89
4.2 Discusión de resultados.....	129
4.3 Prueba de hipótesis.....	132
Conclusiones.....	144
Recomendaciones.....	146
Bibliografía	148
ANEXOS.....	151

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Porcentaje de recubrimiento de acuerdo al tipo de terreno.....</i>	60
Tabla 2. <i>Denominación de los objetivos en función de la variación del campo de imagen y la distancia focal.....</i>	62
Tabla 3. <i>Operacionalización de variables.....</i>	81
Tabla 4. <i>Descripción de las fichas para cada equipo que se utilizara.....</i>	87
Tabla 5. <i>Datos del primer levantamiento con estación total.....</i>	94
Tabla 6. <i>Datos del primer levantamiento con drone-mavic.....</i>	95
Tabla 7. <i>Datos del segundo levantamiento con estación total.....</i>	96
Tabla 8. <i>Datos del segundo levantamiento con drone-mavic.....</i>	97
Tabla 9. <i>Coordenadas registradas promedio y desviación estándar para el drone.....</i>	98
Tabla 10. <i>Coordenadas registradas promedio y desviación para la estación total.....</i>	99
Tabla 11. <i>Promedio de la desviación estándar de los datos del drone y estación.....</i>	100
Tabla 12. <i>Promedio de coordenadas registradas con el equipo gps-diferencial.....</i>	101
Tabla 13. <i>Promedio de coordenadas registradas con el equipo estación total.....</i>	102
Tabla 14. <i>Promedio de coordenadas registradas con el equipo drone.....</i>	103
Tabla 15. <i>Resumen de errores absolutos con drone.....</i>	105
Tabla 16. <i>Resumen de errores absolutos con estación total.....</i>	106
Tabla 17. <i>Errores relativos con drone.....</i>	110
Tabla 18. <i>Errores relativos con estación total.....</i>	111

Tabla 19. <i>Desviación estándar promedio con respecto al norte y este (drone)</i>	115
Tabla 20. <i>Desviación estándar promedio con respecto al norte y este (estación total)</i>	116
Tabla 21. <i>Costo con estación total por consultoras</i>	119
Tabla 22. <i>Gastos generales para la estación total</i>	120
Tabla 23. <i>Tiempo y costo con drone</i>	122
Tabla 24. <i>Gastos generales del levantamiento topográfico con drone</i>	123
Tabla 25. <i>Tiempo y costo con gps diferencial</i>	124
Tabla 26. <i>Gastos generales con gps diferencial</i>	125
Tabla 27. <i>Resumen de costos y tiempos</i>	127
Tabla 28. <i>Cuadro de datos -error general en este (m)</i>	133
Tabla 29. <i>Distribución de “t de student” – error general en este “x”</i>	134
Tabla 30. <i>Cuadro de datos -error general en norte (m)</i>	135
Tabla 31. <i>Distribución de “t de student” – error general en norte “y”</i>	136
Tabla 32. <i>Cuadro de datos -error general en cota (m)</i>	137
Tabla 33. <i>Distribución de “t de student” – error general en cota “z”</i>	138
Tabla 34. <i>Cuadro de datos -tiempo de realización de cada equipo (m)</i>	140
Tabla 35. <i>Distribución de “t de student” – tiempo total</i>	140
Tabla 36. <i>Cuadro de datos -costo de ejecución de cada equipo (m)</i>	142
Tabla 37. <i>Distribución de “t de student” – costo total</i>	142

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Levantamientos topográficos con método convencional</i>	22
Figura 2. <i>Estación total</i>	39
Figura 3. <i>Errores en metros entre el gps y el dgps</i>	40
Figura 4. <i>Vehículo aéreo no tripulado (vant)</i>	51
Figura 5. <i>Solapamiento de fotografías (escala y grado)</i>	59
Figura 6. <i>Distancia focal de la cámara</i>	61
Figura 7. <i>Parámetros para el cálculo de la altura de vuelo</i>	63
Figura 8. <i>Tamaño del sensor de diferentes tipos de cámaras</i>	65
Figura 9. <i>Sombra en relación a la posición del sol en el cielo</i>	66
Figura 10. <i>Simulación de fluido dinámica computacional del aire con vuelo de octocoptero</i>	67
Figura 11. <i>Ejemplo de puntos de control de un área de estudio</i>	70
Figura 12. <i>Diana para georreferenciación visto desde el cielo</i>	71
Figura 13. <i>Diana visto desde la superficie</i>	71
Figura 14. <i>Listado de fotografías</i>	72
Figura 15. <i>Reconstrucción de la posición de las cámaras y malla del objeto fotografiado</i>	73
Figura 16. <i>Esquema del procesamiento de datos en gabinete</i>	74
Figura 17. <i>Inventario vial de la ruta ap-103, sectorizado km-15 hasta el km-21</i>	83
Figura 18. <i>Ubicación de la carretera</i>	84
Figura 19. <i>Progresivas de la carretera en estudio</i>	85
Figura 20. <i>Tramo en donde se realizó los diferentes levantamientos</i>	89
Figura 21. <i>Errores absolutos de la coordenada este</i>	107

Figura 22. <i>Errores absolutos de la coordenada norte</i>	108
Figura 23. <i>Errores absoluto de la cota</i>	109
Figura 24. <i>Errores relativos con ambos equipos</i>	112
Figura 25. <i>Errores relativos con ambos equipos</i>	113
Figura 26. <i>Errores relativos con ambos equipos</i>	114
Figura 27. <i>Desviación estándar con el equipo drone</i>	115
Figura 28. <i>Desviación estándar con la estación total</i>	116
Figura 29. <i>Comparación de la desviación estándar promedio con respecto al este, norte (estación total vs drone)</i>	117
Figura 30. <i>Porcentaje de exactitud</i>	118
Figura 31. <i>Porcentaje de exactitud</i>	118
Figura 32. <i>Tiempo y cotización</i>	119
Figura 33. <i>Tiempo y costo con drone</i>	122
Figura 34. <i>Tiempo y costo con gps diferencial</i>	125
Figura 35. <i>Costos</i>	128
Figura 36. <i>Tiempo</i>	128
Figura 37. <i>Campana de Gauss – error general en este “x”</i>	135
Figura 38. <i>Campana de Gauss – error general en norte “y”</i>	137
Figura 39. <i>Campana de Gauss – error general en cota “z”</i>	139
Figura 40. <i>Campana de Gauss – tiempo total</i>	141
Figura 41. <i>Campana de Gauss – costo total</i>	142
Figura 42. <i>Reconocimiento de tramo en estudio y planeación de ubicación de los puntos de control</i>	157
Figura 43. <i>Monumentación de puntos de control con concreto</i>	157

Figura 44. <i>Monumentación de puntos de control con testigos de concreto previamente elaborados.....</i>	158
Figura 45. <i>Armado de la base del gps diferencial.....</i>	158
Figura 46. <i>Toma de datos de cada punto de control.....</i>	159
Figura 47. <i>Características del componente del gps-diferencial.....</i>	159
Figura 48. <i>Toma de datos de cada punto de control.....</i>	160
Figura 49. <i>Toma de puntos de relleno en margen derecho de la trocha en estudio.....</i>	160
Figura 50. <i>Toma de puntos de relleno en el eje de la trocha en estudio.....</i>	161
Figura 51. <i>Toma de puntos de relleno en el margen izquierdo de la trocha en estudio.....</i>	161
Figura 52. <i>Finalización del levantamiento topográfico con gps diferencial.....</i>	162
Figura 53. <i>Inicio de levantamiento topográfico con estación total.....</i>	162
Figura 54. <i>Registro de los puntos de control con la estación total.....</i>	163
Figura 55. <i>Toma de datos en puntos de control con la estación total en ejes , márgenes izquierdos y derechos.....</i>	163
Figura 56. <i>Se continua con los registros de puntos de relleno, puntos de control, así como puntos en el eje de la carretera con sus respectivos puntos en márgenes izquierdos y derecho.....</i>	164
Figura 57. <i>Visualización de la trocha en estudio notándose que posee zonas con vegetación mínimas, efectuando que se realice el levantamiento sin problemas.....</i>	164
Figura 58. <i>Finalización del levantamiento topográfico con estación total.....</i>	165
Figura 59. <i>Finalización del levantamiento topográfico con estación total.....</i>	165

Figura 60. <i>Armado del drone conformado con 4 hélice multirotor.....</i>	166
Figura 61. <i>Calibración del drone.....</i>	166
Figura 62. <i>Levantamiento fotogramétrico por tramos.....</i>	167
Figura 63. <i>Tomas panorámicas con el drone.....</i>	167
Figura 64. <i>Visualización de drone con altura de vuelo a 1.50 m del suelo.....</i>	168
Figura 65. <i>Visualización del área de investigación notándose lugares inaccesibles para otro tipo de levantamientos topográficos.....</i>	168
Figura 66. <i>Tomas de fotografías panorámicas con el drone.....</i>	169
Figura 67. <i>Tomas de fotografías visto desde el cielo con el drone.....</i>	169

ACRÓNIMOS

GNSS: Sistema de Navegación Global por Satélite (Global Navigation Satellite System).

GCP: Punto de Control Terrestre (Ground Control Point).

DSM: Modelo Digital de Superficie (Digital Surface Model).

DEM: Modelo de Elevación Digital (Digital Elevation Model).

GIS: Sistema de Información Geográfica (Geographic Information System).

GSD: Tamaño de Pixel en el Suelo (Ground Sampling Distance).

RMSE: Error Cuadrático Medio de la Raíz (Root Mean Square Error).

LiDAR: Detección y Teledetección por Luz y Alcance

SfM: Estructura a Partir del Movimiento (Structure from Motion).

CAD: Diseño Asistido por Computadora (Computer-Aided Design).

PPK: Post-Procesamiento Kinemático (Post-Processing Kinematic).

UAVSAR: Radar de Apertura Sintética Montado en UAV (Unmanned Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar).

CAA: Autoridad de Aviación Civil (Civil Aviation Authority).

TOF: Tiempo de Vuelo (Time of Flight).

INTRODUCCIÓN

En la era actual de la tecnología y la ingeniería, el campo del levantamiento topográfico ha experimentado una notable transformación con la introducción y la rápida evolución de los drones. Estos dispositivos aéreos no tripulados han demostrado ser herramientas versátiles y eficientes en diversas aplicaciones, incluido el levantamiento topográfico. Sin embargo, su precisión y fiabilidad en comparación con los métodos convencionales de levantamiento topográfico son temas que han generado un debate significativo en la comunidad científica y profesional.

Esta investigación se propone abordar esta cuestión fundamental al analizar y comparar la precisión de los drones con los métodos convencionales de levantamiento topográfico. Los métodos tradicionales, que han sido pilares en la práctica de la topografía durante décadas incluyen técnicas como la fotogrametría terrestre, el levantamiento con estación total y el uso de GPS diferencial. Estos métodos han demostrado su eficacia en una variedad de entornos y condiciones, pero ¿cómo se comparan con la precisión y la eficiencia de los drones?

Para responder a esta pregunta, esta investigación se centrará en una revisión exhaustiva de la literatura existente, examinando estudios previos y comparativas que han evaluado la precisión relativa de los drones en el levantamiento topográfico en diferentes contextos y condiciones. Además, se llevarán a cabo pruebas empíricas en campo para recopilar datos comparativos directos entre los drones y los métodos convencionales.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Realidad problemática

A lo largo del tiempo en la ciudad de Abancay del departamento de Apurímac los procesos metodológicos de medición topográficos vienen siendo en general realizados con métodos convencionales como la estación total, gps diferencial y así limitándonos al uso de nuevas tecnologías como son el uso de vehículos aéreos no tripulados (drone) habiendo un concepto erróneo que su uso es más costoso y de que da un resultado con muy poca precisión, en ese sentido debido a la necesidad de producción en los proyectos de construcción, la innovación de métodos de medición realizados mediante drone fueron incrementando ya que nos brinda versatilidad en levantamientos topográficos en diferentes tipos de obra de la ingeniería civil siendo base de cualquier proyecto de construcción como abastecimiento de agua, carreteras, infraestructura, hidráulica e hidrología, etc.

La cartografía del terreno se ha creado desde el principio de los tiempos con la intención de facilitar la comprensión de sus componentes. Sin embargo, en la actualidad, la necesidad de datos geográficos es mayor que nunca, lo que hace necesaria la recopilación de datos a una escala temporal y espacial menor. Gracias

a los avances tecnológicos, la cartografía digital ha sustituido a los mapas en papel como principal instrumento de representación cartográfica. Debido a su capacidad para ahorrar tiempo y gastos y producir resultados muy satisfactorios, los sistemas aéreos teledirigidos, o drones, han ganado mucha popularidad en los últimos años como instrumentos de recopilación de información muy valiosos y eficaces (Saez y Beltrán, 2015, pág. 67)

1.2 Identificación y formulación del problema.

En la región Apurímac los trabajos de topografía se realizan mediante metodologías convencionales; descubriendo mínimas investigaciones de nuevas metodologías de levantamientos. Hay un desconocimiento, desactualización y costo de realización hace que el método convencional sea de singular uso, por lo tanto, se ha tomado en cuenta estudiar e implementar esta metodología de levantamiento topográfico considerando sus habilidades, mejores usos y calidad que nos brinda para las zonas de nuestra región. Existen varios factores que intervienen negativamente en la precisión siendo las siguientes:

- Tiempo de realización: se realizó la comparación de las tres metodologías a utilizarse para una misma zona de estudio y se verá cuál de las tres será más rentable y eficaz en cuanto a tiempos mínimos.

- Defectos en el instrumento empleado: para el levantamiento topográfico se realizó mediante la estación total, gps diferencial y drone, siendo necesarios la calibración correspondiente para obtener resultados confiables y precisos.

- Factor humano: el ser humano es un ser imperfecto por su naturaleza, así, cuando un sujeto es el responsable de realizar las mediciones, hay una probabilidad que exista un error.

Figura 1.

Levantamientos topográficos con método convencional.



Nota. La figura muestra a un operador de una estación total convencional realizando trabajos de topografía. Fuente: Google (Estación Total).

1.2.1 Problema general

¿Cuál será el análisis comparativo de la precisión de un levantamiento topográfico mediante drone y los métodos convencionales para la carretera Karcatera-Abancay-2023?

1.2.2 Problemas específicos

P.E-1: ¿Cuál será la diferencia de error general en un levantamiento topográfico de trochas carrozables entre un drone y los métodos convencionales?

P.E-2: ¿Cuál será la diferencia de tiempo al realizar un levantamiento topográfico en trochas carrozables entre un drone y los métodos convencionales?

P.E- 3: ¿Cuál será la diferencia de costo de la realización de un levantamiento topográfico mediante drone y los métodos convencionales?

1.3 Justificación

Una justificación **teórica** es aquella que nutre el conocimiento, porque genera la innovación del conocimiento habitual en la medición de terrenos, también pretende producir los datos necesarios para analizar la precisión resultante y conocer el grado de fiabilidad de los levantamientos topográficos realizados por vehículos aéreos no tripulados. Así incorporando tecnologías de medición como el dron mediante la fotogrametría y topografía a los lineamientos vigentes en la actualidad contribuyendo al crecimiento de la región.

La justificación **práctica** es importante ya que se plantea la innovación de las metodologías de medición topográficas convencionales, esta metodología de medición con vehículos aéreos no tripulados presenta eficacia y versatilidad en caminos y carreteras, brindándonos accesibilidad a zonas con topografías de pendientes escarpadas y de difícil ingreso, realizando trabajos de levantamientos de datos en tiempos mínimos y por consecuente costos económicos de elaboración.

Se justifica **socialmente** porque explora nuevos conocimientos y opciones de recopilación de datos con errores insignificantes en levantamientos topográficos con vehículos aéreos no tripulados siendo principales beneficiarios los usuarios ya que da la posibilidad de economizar los costos de trabajo en ejecución de obras de caminos, lotizaciones de propiedades, sistemas de riego, conjuntamente realizándose en un tiempo mínimo interviniendo extensas dimensiones. También serán beneficiados colegas de las diferentes carreras profesionales como ingeniería civil, ingeniería agrícola, ingeniería agronómica, etc. Dándoles alternativas de rendimiento y versatilidad al momento de desempeñar su área de trabajo. Así también dejando un aporte para futuros trabajos de tesis.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la variabilidad de la precisión de un levantamiento topográfico mediante dron y los métodos convencionales para la carretera Karcatera-Abancay-2023

1.4.2 Objetivos específicos

O.E-1: Analizar la variabilidad de metodología de medición que de un resultado con un error general menor entre un equipo aereo no tripulado y los métodos de medición convencionales (estación total, GPS).

O.E-2: Analizar la variabilidad de diferencia de tiempo al realizar un levantamiento topográfico en trochas carrozables entre un equipo aéreo no tripulado y los métodos de medición convencionales (estación total, GPS).

O.E-3: Analizar la variabilidad de costos de realización de un levantamiento topográfico mediante dron y los métodos de medición convencionales (estación total, gps).

1.5 Delimitación de la investigación

1.5.1 Espacial

El estudio se realizó en todo el tramo de la carretera de Karcatera del distrito de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac.

1.5.2 Temporal

El estudio se llevó a cabo en el primer semestre académico del año 2023

1.5.3 Social

La investigación actual se refiere a los residentes del centro poblado de Karcatera del distrito de Abancay, particularmente a aquellos que están ubicados en los bordes de la carretera teniendo como base la información resultante de la

investigación que pueden conducir a la proyección de futuras construcciones de obras.

1.5.4 Conceptual

El presente estudio analizo la variabilidad de precisión entre un vehículo aéreo no tripulado y los métodos convencionales de medición como son estación total y gps diferencial haciendo sus diferencias de precisión, tiempo y costo en el levantamiento topográfico de la carretera Karcatera-Abancay, de igual manera, las condiciones de la zona de estudio.

1.6 Viabilidad de la investigación

Esta tesis es viable porque tuvo el financiamiento necesario para su correcto desarrollo con acceso a los equipos que se requieran, en donde podrán ser realizadas las diferentes etapas como la etapa de diagnóstico, de campo y gabinete, adicionalmente se cuenta con acceso a la zona que proporciona información sobre las variables investigadas en este proyecto. También está el compromiso y la disponibilidad de tiempo de los investigadores responsables de ejecutar la investigación.

1.7 Limitaciones

El desarrollo de la tesis asume las siguientes limitaciones, en primer lugar, se limitó a la carretera de Karcatera, partiendo del tramo del centro poblado de Karcatera hacia los túneles de Karcatera cuya longitud en estudio es de 4.00 km, como parte fundamental de la investigación vial, en segundo lugar limitándose en el tiempo de elaboración que resulta de un levantamiento topográfico por medio de un drone en comparativa con la estación total y gps diferencial, en tercer lugar teniendo un presupuesto limitado y determinado para cada una de las diferentes actividades que se realizaron en las 3 etapas del trabajo de investigación como

diagnóstico, trabajo de campo y finalmente trabajo de gabinete, en cuarto lugar la investigación usara el Dron modelo DJI Phantom 4 Pro v2.0 presupuestado por quien realiza el estudio en mención, así como también se limita el uso de la estación total de modelo Topcon Os 205 y el uso del GPS Diferencial de modelo Trimble R10, en quinto lugar la investigación se limita al uso de programas sistemáticos como Autocad Civil 3d, Arcgis, Pix 4D, Pix 3D, S10, Reach view, en sexto lugar el trabajo está limitado geográficamente a la realización de los levantamientos topográficos dentro de la región de Apurímac, Provincia de Abancay, Distrito de Abancay y centro poblado de Karcatera, en séptimo lugar el clima es una limitante fundamental y se optara por realizar los trabajos de campo en días en donde esté presente el buen clima, en precisión que este soleado para mantener seguros los equipos que se utilizaran, así como evitar levantar datos con presencia de errores notables, en octavo lugar al realizar el trabajo de campo mediante el vehículo aéreo no tripulado (drone) se limitara a una altura de vuelo que oscile en el rango de 45-50 metros de altura sobre el nivel del suelo, esta investigación como objetivo principal se limita al análisis comparativo de la precisión absoluta o general, indicando la exactitud de los datos topográficos en relación con un sistema de coordenadas de referencia externo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

2.1.2 Antecedentes a nivel internacional

Jiménez, Magaña y Soriano (2019) en su investigación titulado “Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con Estación Total como método directo y el uso de drones y GPS como métodos indirectos”, con el **objetivo** de realizar un análisis comparativo entre levantamientos topográficos con Estación total como método directo y el uso del dron y gps como métodos indirectos, para esto se aplicó una **metodología** aplicada, cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Los **resultados** denotaron diferentes desviaciones para cada versus que se realizó, en este caso se realizaron 3 que son los siguientes, para el análisis comparativo de la estación total vs gps (rtk) se muestran los siguientes resultados, mayor desviación en X = 0.023m, mayor desviación en Y = 0.020 m y mayor desviación en elevación =0.039 m , para el análisis comparativo de estación total vs dron (fotogrametría) se muestran los siguientes resultados, mayor desviación en X = 0.059 m, mayor desviación en Y = 0.037 m y mayor desviación en elevación = 0.313 m, para el análisis comparativo de gps (rtk) vs dron

(fotogrametría) se muestran los siguientes resultados mayor desviación en $X = 0.038$ m, mayor desviación en $Y = 0.041$ y mayor desviación en elevación = 0.287 m, con respecto al costo total de cada levantamiento son los siguientes levantamiento topográfico mediante estación total = \$10,455.00, levantamiento topográfico mediante dron = \$13,120 y finalmente levantamiento topográfico mediante GPS = \$15,455, con respecto al tiempo de realización de cada equipo son los siguientes estación total con un trabajo de campo de 8 horas y un trabajo de gabinete de 2 horas, para el dron con un trabajo de campo de 25 minutos y un trabajo de gabinete de 48 horas y para el gps con un trabajo de campo de 4 horas y un trabajo de gabinete de 2 horas. Se **concluye que** se ha demostrado que el uso de drones y herramientas georreferenciadas, como la estación total, para recoger datos sobre el terreno es un método fiable y eficaz. Aunque arroja resultados comparables, el método tradicional de topografía es menos adaptable y más caro en términos de mano de obra, tiempo y accesibilidad. Los vehículos aéreos no tripulados (UAV, o drones) y la fotogrametría se utilizan para simplificar el procedimiento, proporcionar datos comparables y precisos, y reducir riesgos y costes. Tanto en el ámbito de la fotogrametría como en el de la ingeniería civil, este método presenta varias ventajas.

Salas (2022) realizó un estudio titulado "Análisis comparativo de levantamientos topográficos con drones frente a levantamientos topográficos convencionales" con el objetivo de determinar las ventajas del uso de drones para la toma de datos en levantamientos topográficos frente a métodos más convencionales en términos de costes, tiempo, seguridad y precisión de los datos. El margen de error de las distintas metodologías se analizó mediante una metodología observacional descriptiva. El nivel topográfico tuvo el menor margen de error en el lado (b') del

punto 1 al 2 y en el lado (a) del punto 2 al 3, según los resultados. En el lado (b), la estación total tuvo el menor margen de error entre los puntos tres y cuatro. Del punto 4 al 1, la técnica del dron presenta el menor margen de error en el lado (a'). El nivel topográfico era de 2,00 m, el del dron era de 0,99 m, el de la estación total era de 1,51 m y el margen de error de la cinta métrica era de 1,88 m. Se determina que, entre otras aplicaciones en diversos ámbitos de la ingeniería civil, el uso de drones para levantamientos topográficos proporciona ventajas estratégicas, como el ahorro de costes y de tiempo.

Yamasqui (2022), a través de su investigación que tiene como fin de evaluar el levantamiento topográfico aero fotogramétrico, el estudio titulado "Evaluación y valoración de levantamientos topográficos por aerofotogrametría y métodos tradicionales, utilizando Estación Total o GPS Diferencial" se propone comparar sus resultados con los de un levantamiento realizado por métodos tradicionales para el proyecto de ingeniería. "Actualización y aplicación para el diseño definitivo del sistema de agua potable en las comunidades de Uyuntza, Suntsuntza y Pikiur de la parroquia Sevilla Don Bosco, cantón Morona. La investigación evalúa y valora el levantamiento topográfico en este proyecto específico utilizando una técnica cuantitativa y un enfoque explicativo, con datos obtenidos a partir de mediciones, representados mediante números (cantidades) que son analizados a través de métodos estadísticos. Con lo cual se describen variables (costo, tiempo y precisión) y se explican sus cambios y movimientos. Los **resultados** obtenidos en esta investigación nos muestran que el rendimiento del levantamiento topográfico aerofotogramétrico es superior al levantamiento con gps diferencial, es decir, se puede realizar el levantamiento de una mayor área de terreno en un menor tiempo utilizando la aerofotogrametría. Lo cual se debe

principalmente a que la recolección de puntos (trabajo de campo) resulta más sencillo en comparación al levantamiento con gps diferencial, debido a que se trata de una metodología indirecta, donde no es necesario movilizarse por toda el área de estudio, requiriendo menor cantidad de recursos y tiempo. En el levantamiento mediante gps diferencial el tiempo empleado en el trabajo de campo representa el 74,8% de todo el trabajo ante el 53,55% que representa en el levantamiento aerofotogramétrico, lo cual justifica el incremento considerable en el costo de un levantamiento respecto al otro. ya que, en el levantamiento de la información es donde más recursos se utiliza. Para **concluir**, la aerofotogrametría usada en levantamientos topográficos presenta ciertas ventajas como la reducción del riesgo laboral del operador en el trabajo de campo al tener que trasladarse a lugares peligrosos por la recolección de puntos, pero también presenta desventajas, ya que, si se requiere precisión, la metodología es totalmente dependientes de un sistema global de navegación por satélites (GNSS), lo cual se obtiene al utilizar el gps diferencial para obtener los puntos de control. Realizar el levantamiento con la metodología convencional al ser independiente se creería que es más conveniente, pero esta también tiene limitaciones, como el exceso de recursos en el trabajo de campo y la falta de productos (ortofoto) para caracterizar un área de estudio. Es decir, no siempre una sola tecnología satisface todos los requerimientos en un levantamiento topográfico, pero si se las combinan compensaría sus limitaciones y carencias, convirtiéndose en una herramienta mucho más completa (Aerofotogrametría con puntos de control) al realizar levantamientos topográficos. El levantamiento topográfico mediante la aerofotogrametría resulta 66,09% más económico y el 63,23% más rápido que el levantamiento mediante gps diferencial, lo cual demuestra que este método alternativo resulta más factible al momento de

realizar un levantamiento topográfico en una zona de estudio con un terreno clasificado como plano y ondulado, con pequeños accidentes topográficos y una importante vegetación, también se concluye que la comparación de precisión planimétrica de los dos métodos topográficos realizados nos establece que no existe diferencias significativas en sus coordenadas siendo el método aero fotogramétrico confiable para realizar levantamientos planimétricos en proyectos de ingeniería, obteniendo una diferencia promedio en la coordenada norte y este de 2,4 y 2,1 cm respectivamente, verificando los resultados al visualizar las coordenadas en la ortofoto.

Jimenez y Prado (2017) en su investigación que tiene como título para obtener la topografía del parque de investigación y el reflejo de la latitud 0°, el estudio denominado "Análisis técnico comparativo entre los métodos topográficos tradicionales y el método de fotogrametría aérea UAV" empleará tanto métodos topográficos tradicionales como la fotogrametría aérea UAV. Para determinar las ventajas, los inconvenientes, la precisión y el calibre de los datos adquiridos, se compararán los enfoques mencionados. En el estudio se utiliza una técnica mixta aplicada para proporcionar explicaciones. Los resultados indican que la fotogrametría aérea ofrece una precisión de 0,0647 metros en regiones desprovistas de vegetación y de 0,4863 metros en lugares llenos de vegetación. En el área de investigación, la precisión media es de 0,2815 metros en general. Se concluye que las técnicas convencionales, incluidas las estaciones totales y el gps, son esenciales para los levantamientos topográficos y, cuando se utilizan conjuntamente, proporcionan resultados muy precisos independientemente del tipo de terreno, el clima, la vegetación o la situación geográfica. La fotogrametría aérea, por su parte, presenta ventajas en cuanto a densidad de puntos y detalle, aunque

su procesamiento puede resultar más complicado. En conclusión, la fotogrametría aérea proporciona una mayor densidad de puntos y es más adecuada para regiones desprovistas de vegetación, mientras que la técnica convencional es precisa y eficaz, pero requiere mucho trabajo para lograr un levantamiento completo.

Quezada (2022) a través de su estudio titulado "Evaluación de Confiabilidad entre Estación Total, Aerofotogrametría con RPAS y GPS diferencial, aplicado a proyectos de minería" tiene como objetivo evaluar la confiabilidad y precisión de los levantamientos topográficos utilizando diferentes métodos en la mina "Colina Verde". El propósito es crear una cartografía actualizada y eficiente que simplifique los trabajos topográficos y reduzca los costos en proyectos mineros. Se utilizó una metodología cuantitativa y no experimental, utilizando equipos de última generación y comparando los resultados en términos de tiempo y costos. Los resultados obtenidos cumplen con los objetivos del estudio, demostrando la confiabilidad y precisión de los diferentes métodos utilizados. Se destaca la dificultad del terreno accidentado y la vegetación abundante en la zona de estudio, lo cual requirió adaptaciones en los levantamientos. En conclusión, el estudio demuestra la importancia de utilizar tecnología avanzada y personal eficiente para obtener resultados precisos y actualizados en proyectos mineros.

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional

Pedraza (2019) en su investigación con el título "Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio, Los Olivos - 2019" realizado por Pedraza, el objetivo fue identificar las diferencias entre el levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio. Una metodología

cuantitativa aplicada con un diseño no experimental, tipo transversal y nivel descriptivo-explicativo fue empleada. La muestra consistió en levantamientos topográficos de la Huaca de Aznapuquio. Los resultados mostraron diferencias entre los errores verticales y horizontales de ambos métodos. En el levantamiento topográfico tradicional se obtuvo un error vertical de 0,010 m y un error horizontal de 0,010 m, pero en el levantamiento topográfico con RPAS se obtuvo un error vertical de 0,022 m y un error horizontal de 0,010 m. En el levantamiento topográfico tradicional, los resultados mostraron un error vertical de 0,010 y un error horizontal de 0,010 metros, pero los resultados del levantamiento topográfico mediante RPAS mostraron un error vertical de 0,022 y un error horizontal de 0,021 metros. Además, se observará un error total de 0,013 metros en el levantamiento topográfico tradicional y un error total de 0,030 metros en el levantamiento topográfico mediante RPAS. La diferencia entre el levantamiento topográfico convencional y el realizado con RPAS en Huaca Aznapuquio es considerable. El levantamiento topográfico con RPAS costó más de operar y llevó más tiempo que el levantamiento topográfico tradicional, a pesar de la mayor precisión del levantamiento tradicional. Se necesitaron ocho días para realizar el levantamiento RPAS, frente a los cuatro días del levantamiento estándar. Además, los costes operativos del levantamiento RPAS fueron de S/. 1886,50 soles frente a los S/. 1084,50 soles del levantamiento convencional.

Amaringo y Mundaca (2020), en su investigación que lleva el título de Evaluación y comparación de un levantamiento topográfico mediante estación total y dron en la elaboración del expediente de situación de riesgo potencial en el km 184+400 y km 184+700 de la carretera Dv. Cerro de Pasco - Huánuco" fue realizado por Amaringo y Mundaca en el año 2020. El objetivo del estudio fue evaluar y

contrastar el levantamiento topográfico realizado en dos puntos de la ruta Cerro de Pasco - Huánuco utilizando una estación total y un dron con el fin de contar con un archivo de situación de riesgo potencial. Con un diseño experimental, la técnica fue descriptiva, aplicada y cuantitativa. Dos posibles situaciones de peligro elegidas al azar en el segmento de carretera conformaron la muestra. Los resultados demostraron que se necesitan trabajadores cualificados para todo el levantamiento de la estación a fin de nivelar y colocar correctamente el prisma en el suelo y utilizar la terminología adecuada al desplazarse y tomar puntos. En los dos lugares de investigación también se realizó la monumentación de puntos fijos. Cada sesión de trabajo de campo duraba cuatro horas. Por otra parte, se utilizó un GPS GARMIN para organizar el vuelo y localizar los puntos de control durante el levantamiento con dron. En cada lugar de estudio se efectuó un vuelo de 45 minutos. utilizando la terminología adecuada para el desplazamiento y la obtención de puntos, así como para la nivelación y la colocación del prisma en el suelo. En los dos lugares de investigación también se realizó la monumentación de puntos fijos. Cada sesión de trabajo de campo duro cuatro horas. Por otro lado, se utilizó un GPS GARMIN para organizar el vuelo y localizar puntos de control durante el levantamiento con dron. Cada lugar de estudio tuvo un vuelo de 45 minutos. Se determina que, en las dos localidades de la ruta Cerro de Pasco-Huánuco Dv., los levantamientos topográficos realizados con estaciones totales son menos eficientes económicamente que los realizados con drones durante la elaboración del expediente de situación de riesgo potencial. El levantamiento fotogramétrico aéreo tiene un costo de S/327.50, mientras que el levantamiento topográfico con estación total tiene un costo de S/456.01, para la elaboración de expedientes de situaciones de peligro probable. El levantamiento con dron Phamton 4 también se muestra más

eficiente en términos de tiempo que el levantamiento topográfico con estación completa, requiriendo tan solo 45 minutos para la recopilación de datos de campo por sector analizado, en comparación con hasta 4 horas para cada sector analizado con posibles peligros.

Leiva y Niño de Guzman (2021), desarrollaron una investigación que tiene como título “Evaluación Comparativa de la Precisión en levantamientos topográficos efectuados mediante vehículo aéreo no tripulado (UAV) a 50 metros de altura y el método tradicional en la carretera abra Ccorao-Ccorao”, El objetivo del estudio fue evaluar la precisión relativa de los levantamientos topográficos realizados en la ruta Abra Ccorao - Ccorao utilizando un vehículo aéreo no tripulado (UAV) a una altura de vuelo de 50 metros en comparación con el enfoque convencional. El estudio empleó un diseño no experimental, una técnica de enfoque cuantitativo y un nivel descriptivo correlacional. La muestra estuvo constituida por los cinco kilómetros de la carretera Abra Ccorao-Ccorao, en la localidad de Ccorao, distrito de San Sebastián, provincia de Cusco y departamento de Cusco. Los resultados demuestran que, en comparación con el enfoque convencional, el uso de la tecnología de drones UAV para los levantamientos topográficos es más beneficioso y eficiente. Una recopilación de datos más rápida y eficiente permitió acceder a lugares antes inalcanzables y disminuyó el riesgo de ejecución. El uso de drones también reduce los gastos e incorpora nuevas tecnologías a los levantamientos convencionales. Debido a la copiosa cantidad de información y detalles recopilados, se descubrió que el dron es más preciso, lo que demuestra su utilidad en proyectos de carreteras y afines que requieren valores de error mínimos. En conclusión, la premisa general de que el método indirecto (dron) tiene un mayor nivel de precisión en la topografía que el método directo

(convencional) puede demostrarse parcialmente. Cabe destacar que, aunque la técnica indirecta es más rápida, no se ha podido demostrar su menor coste.

Yomona (2019) en su proyecto de investigación titulada “Comparación de precisión realizada con dron respecto al método tradicional en un relieve semi montañoso del a.h. nuevo progreso, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, 2019”, tuvo El objetivo era evaluar las diferencias en la precisión del levantamiento topográfico entre el uso por parte de AH Nuevo Progreso de un dron de ala rotatoria Phantom 4 Pro y el enfoque convencional con estación total. Se utilizó el software Agisoft Metashape Professional para procesar los datos de campo después de emplear la fotogrametría para recopilarlos. Con un diseño no experimental, la técnica fue comparativa y descriptiva. Los resultados demostraron que la precisión de cada vuelo de dron se estimó promediando sus tres vuelos y calculando el error residual de cada vuelo. A partir de datos comparables de los tres vuelos, el dron resultó ser un instrumento muy preciso. No obstante, el dron mostró discrepancias menores en coordenadas y altitudes, con máximos de 4,033 y 0,513 msnm, respectivamente, en contraste con la estación total, que se considera un equipo muy preciso. Se calculó la precisión del dron y el resultado fue de 0,000367, inferior a la precisión permitida de 0,00005. Esto sugiere que la precisión del dron es buena. No obstante, se rastrea un diferencial de elevación de 90 cm en seis alineaciones, lo que indica que el uso de drones para levantamientos topográficos de alta precisión con una tolerancia de 5 mm es inverosímil.

Cuenca (2021) en su investigación cuyo título es “Análisis comparativo técnico - económico entre el levantamiento topográfico aerofotogramétrico usando drones y el método tradicional con estación total”, realizó un estudio comparativo técnico-económico entre el método tradicional con estación total y el levantamiento

topográfico aerofotogramétrico asistido por drones. El objetivo fue analizar y contrastar estos dos enfoques en la localidad de Rancho, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, región Ayacucho. Se empleó un diseño aplicativo, cuantitativo, no experimental y descriptivo de corte transversal. A un nivel de significación del cinco por ciento, los resultados revelaron variaciones en las coordenadas "Norte" y elevación del terreno entre el método aerofotogramétrico con drones y el de estación total. En conclusión, se ha demostrado que los datos obtenidos mediante fotogrametría aérea con drones difieren de los obtenidos mediante el método convencional con estación total. Se descubrió que el levantamiento con estación total era más preciso que el levantamiento fotogramétrico aéreo con dron. Además, se observará que la varianza en la elevación del terreno varía en función del tipo de cobertura del suelo, produciéndose las variaciones más notables en las regiones recreativas y agrícolas y menos en las zonas metropolitanas y los pavimentos. En conjunto, se determina que los dos métodos difieren significativamente, siendo el estudio de estación completa el que presenta una mayor precisión. Además, se descubrió que el tipo de cobertura del suelo influye en la fluctuación de la elevación del terreno.

2.1.3 A nivel regional

Paucar (2019) redactaron una investigación con el propósito del trabajo de investigación "Aplicación de la fotogrametría digital de objeto cercano en la infraestructura minera, proyecto minero Las Bambas-Apurímac" es mostrar cómo se puede utilizar la fotogrametría en la infraestructura minera durante la ejecución del proyecto minero Las Bambas. La investigación descriptiva con tecnología es el enfoque empleado. Los resultados indican que un levantamiento fotogramétrico necesita unas 0,012 horas de tiempo de vuelo por hectárea, además del tiempo de

procesamiento en oficina, que varía en función de las especificaciones del procesador. En cambio, para la topografía tradicional se necesita una hora de media por hectárea. El levantamiento fotogramétrico en una investigación que abarcaba 140 hectáreas tardó 8 horas en tiempo real, mientras que el levantamiento topográfico habitual habría requerido 140 horas, es decir, 17 días laborables. Se ha comprobado que la fotogrametría reduce en gran medida los gastos y el tiempo necesarios para las actividades de gabinete y sobre el terreno. Se descubrió que, al volar a una altura constante de 80 metros, se puede alcanzar una precisión de 2 cm en las coordenadas x e y y de 6 cm en la coordenada z para los productos elaborados mediante fotogrametría de objeto cercano. Para la región de investigación, los solapamientos óptimos fueron del 60% transversalmente y del 75% longitudinalmente. Queda demostrado que la fotogrametría es una opción superior para el tema de la investigación.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Métodos convencionales para levantamientos topográficos

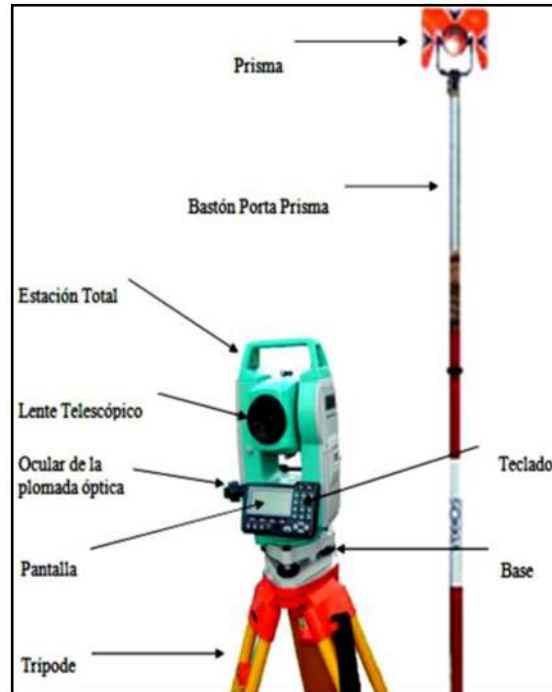
Los métodos convencionales para levantamientos topográficos se han utilizado durante mucho tiempo en la ingeniería civil para obtener datos precisos del terreno, características geográficas y elementos necesarios en la planificación y diseño de proyectos viales, estos métodos se basan en técnicas tradicionales y equipos especializados que requieren la presencia de topógrafos y una logística específica. A continuación, se detallan los tipos de métodos convencionales, sus componentes y características distintivas, así como sus ventajas y desventajas:

2.2.1.1. Método directo: Estación completa Las estaciones totales son instrumentos topográficos electroópticos que se basan en la tecnología

electrónica para funcionar. Consiste en integrar un teodolito electrónico con un microprocesador y un distanciómetro.

Figura 2.

Estación total.



Nota. La figura muestra una estación total convencional con sus partes para realizar trabajos de topografía. Fuente: Google (Estación Total).

Teodolitos y estaciones totales

Los teodolitos y estaciones totales son instrumentos ópticos que se utilizan para medir ángulos horizontales y verticales, así como distancias. Estos instrumentos son comunes en levantamientos topográficos y se utilizan para determinar la ubicación precisa de puntos de control, ángulos, distancias y elevaciones.

Componentes:

- Telescopio óptico para la medición de ángulos.

- Sistema de medición de distancia, que puede ser mediante un sistema óptico o electrónico.
- Nivel para la medición de elevaciones.

Funcionamiento

El principio geométrico de la triangulación, que consiste en calcular la coordenada geográfica de un lugar desconocido a partir de otros dos puntos conocidos, sirve de base para el funcionamiento del aparato. En pocas palabras, una estación topográfica completa comienza en dos lugares conocidos o que se supone que tienen coordenadas. A partir de esas posiciones, se realizan observaciones y cálculos para cualquier punto adicional sobre el terreno.

Ventajas:

Precisión en las mediciones de ángulos y distancias.

Capacidad para realizar mediciones de alta precisión.

Amplia gama de aplicaciones en topografía.

Desventajas:

Requiere personal altamente capacitado.

El proceso puede ser lento y laborioso.

No es adecuado para áreas extensas o de difícil acceso.

Método indirecto: El GPS de doble frecuencia es una forma indirecta. Visión general de la tecnología GPS el departamento de defensa de estados unidos (DoD) gestiona el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) basado en satélites. Para ofrecer información global, el GPS necesita un cronometraje preciso (hora GPS) y una localización ininterrumpida. El GPS también proporciona información meteorológica.

Funcionamiento del GPS 1. Fundamentos del sistema Fundamentos del sistema Se pueden obtener las coordenadas precisas de cualquier punto de la Tierra calculando la distancia entre un conjunto de satélites y ese lugar. Dado que las posiciones de los satélites son siempre conocidas, sirven como puntos de referencia exactos (efemérides). Para resolver con precisión las cuatro incógnitas - X, Y, Z y tiempo- se necesitan realmente cuatro satélites.

Alcance de los satélites Los satélites GPS emiten dos radiofrecuencias cada uno: - La portadora L1, modulada con dos códigos: P (preciso - militar) y CIA (adquisición gruesa - civil). - El código P modula la portadora L2. Para calcular la hora se pueden utilizar dos tipos de lectura diferentes: - Lectura por código: El receptor calcula utilizando el código (CIA o P). Lectura de fase: el receptor calcula el número de ciclos a partir de la lectura directa de la fase de las ondas portadoras (L1 o L1 y L2).

Los relojes atómicos de los satélites, que tienen una precisión de 10^{-12} a 10^{-14} segundos, constituyen la base de la precisión horaria del sistema GPS. Por otro lado, los receptores GPS utilizan relojes de cuarzo de 10^{-6} segundos. Este fallo de sincronización da lugar a un error de unos trescientos metros. Tratando la inexactitud del reloj como una incógnita más, se necesita un cuarto satélite para elevar la precisión a 10^{-9} segundos con el fin de eliminar este error. Con sólo tres satélites necesarios para determinar una posición, la mayoría de los receptores GPS del mercado actual pueden eliminar la variable de la altura de sus cálculos. Se considera que el valor de la altitud corresponde a la posición más reciente determinada utilizando cuatro satélites. Pero esto puede dar lugar a errores de hasta 100 metros. En conclusión, la precisión de los relojes de los satélites y de los receptores influye en la exactitud temporal del sistema GPS. Aunque las

localizaciones pueden obtenerse con sólo tres satélites, puede haber algunos errores de altura. Para aumentar la precisión se necesita un cuarto satélite.

Las coordenadas horizontales y verticales afectan a la precisión de los datos GPS. En general, la precisión vertical es de una a cinco veces menor que la horizontal. La precisión de la localización GPS puede oscilar entre un centímetro y varios metros, dependiendo de las herramientas y métodos de medición empleados.

Es importante recordar que, dado que las elevaciones son elipsoidales y no ortométricas en el momento de la medición, la precisión de las coordenadas horizontales es mayor que la de las verticales. El equipo receptor, el diseño y la ejecución del proceso de recogida de datos, la duración de la medición y los algoritmos de procesamiento de datos son algunas de las variables que afectan a la precisión de las lecturas del GPS. Las distintas tareas del GPS requieren diferentes niveles de precisión. Por ejemplo, un navegador con una precisión de unos pocos metros puede utilizarse para la navegación en coche. Sin embargo, la precisión milimétrica y centimétrica es necesaria para tareas como la exploración espacial, la navegación terrestre o marítima, la topografía y el control de depósitos hidráulicos.

La precisión del GPS puede ser de dos tipos: precisión diferencial y precisión absoluta. Con el servicio de posicionamiento estándar (SPS) se puede alcanzar una precisión de unos 20 metros. Con el servicio de posicionamiento preciso (PPS) o el código P pueden alcanzarse precisiones de entre 5 y 10 metros. En proyectos científicos pueden alcanzarse precisiones de hasta $\pm 0,1$ metros ± 1 ppm en términos de precisión diferencial con las herramientas adecuadas y un control estricto durante todo el proceso. En conclusión, afectará a la precisión de

los datos GPS. Dependiendo del tipo de trabajo y de los servicios utilizados, existen diversos grados de precisión que pueden ir desde centímetros hasta metros.

Es fundamental tener en cuenta algunos factores para organizar la recogida de datos antes de salir al campo. Entre estos criterios se encuentran:

Almanaque: Las posiciones orbitales de cada satélite GPS figuran en un almanaque, también conocido como archivo de efemérides. Éste se captura automáticamente en los receptores tras ser enviado por los satélites. Para mantener actualizada la planificación de la situación de los satélites, el almanaque del receptor GPS debe enviarse rutinariamente al ordenador.

Cartas de predicción de satélites: Estas cartas proporcionan el PDOP (Position Dilution of Precision of Position) en un momento dado, junto con el número de satélites disponibles y sus altitudes o azimuts. El PDOP proporciona datos sobre la calidad de la geometría de la constelación de satélites.

Una mayor precisión se indica con un valor PDOP más bajo. A la hora de elegir el periodo óptimo (las mejores horas) para la recogida de datos, debe tenerse en cuenta un PDOP mínimo. En general, puede alcanzarse un PDOP satisfactorio cuando los 24 satélites están operativos.

El método conocido como corrección diferencial (DGPS) aumenta enormemente la precisión de los datos GPS que se registran. Consiste en emplear una estación base de llamada, un receptor en un lugar conocido y receptores móviles o distantes adicionales para registrar las posiciones GPS en lugares desconocidos. Las imprecisiones en los datos del satélite se encuentran utilizando los datos que se tomaron en el lugar conocido. El error de selección (S/A), los errores de reloj del receptor y del satélite, la ubicación del satélite y los efectos de la ionosfera y la troposfera son algunas de las imprecisiones en las posiciones de

los receptores móviles que se ajustan utilizando estas diferencias de desplazamiento. Por lo tanto, para realizar estas modificaciones se necesita información precisa de la posición de la estación base.

Tabla 1.

Errores en metros entre el GPS y el DGPS

Error (en metros)	GPS	DGPS
Horizontal	15	1
Vertical	25	2
3D	30	2.3
Reloj SV	1.5	0
Error orbital	2.5	0
Ionosfera	5	0.4
Troposfera	0.5	0.2
Ruido receptor	0.3	0.3
Multitrayectoria	0 a 100	0 a 100
S/A (Disponibilidad selectiva)	30	0

Nota. En esta tabla se muestra los errores en metros que existen entre el GPS y el DGPS

2.1.2. Nivelación

La nivelación es un método que se utiliza para determinar las diferencias de elevación entre diferentes puntos en el terreno. Se basa en el principio de nivelación geométrica y se utiliza para crear perfiles de elevación precisos.

Componentes:

- Nivel de ingeniero.
- Miras y reglas de nivelación.

Ventajas:

- Proporciona mediciones de elevación precisas.
- Útil para determinar perfiles de terreno y planificar pendientes.

Desventajas:

- Requiere una línea de visión clara entre puntos.

2.1.3. Taquimetría

La taquimetría es un método que combina la medición de ángulos y distancias para obtener datos topográficos detallados. Se utiliza en levantamiento de terrenos y para crear mapas detallados de áreas específicas.

Componentes:

Teodolito o estación total.

Barra taquimétrica o mira.

Libreta de campo para registrador de datos.

Ventajas:

Permite obtener mediciones precisas de ángulos y distancias.

Adecuado para levantamientos detallados y cartografía.

Desventajas:

Requiere personal capacitado en su uso.

La obtención de datos puede ser más lenta que con otros métodos.

2.2.1. Precisión de un levantamiento topográfico

Es fácil argumentar que la precisión es un fenómeno contemporáneo asociado a nuestro modo de vida capitalista, en el que el tiempo se mide con precisión para maximizar el beneficio y ejercer control sobre nuestras acciones. En el pasado, como en la antigüedad o la edad media, no existía el tiempo preciso, y la gente vivía más despreocupada y sin complicaciones que ahora. Pero disciplinas como la física, la construcción y la arquitectura ya tenían entonces en mente el concepto de precisión (Bembibre, 2012).

El grado de concordancia entre los resultados de repetir el mismo experimento en condiciones controladas se denomina precisión. Evalúa la dispersión de las mediciones y se presenta en forma de porcentaje (coeficiente de variación o CV). Dicho de otro modo, la precisión significa que las mediciones

realizadas de nuevo proporcionan hallazgos que son comparables. La precisión aumenta a medida que disminuye la discrepancia entre los resultados. La herramienta de medición, la persona que realiza la medición, la aparición de imprevistos y las propiedades de la variable analizada son algunas de las variables que afectan a la precisión.

Es crucial recordar que no deben existir influencias de errores sistemáticos en los datos para poder analizar probabilísticamente el comportamiento de los errores de medición no intencionados. Algunas imprecisiones, como la temperatura en una banda metálica, no siempre afectan a todas las observaciones. El contexto y las condiciones generales en las que se realiza la tarea también influyen en la precisión de la medición, además del equipo y la técnica empleados.

El grado de concordancia o dispersión de un conjunto de valores derivados de muchas mediciones de la misma magnitud en las mismas circunstancias se denomina precisión. El equipo, el procedimiento y el entorno en el que se realiza la tarea influyen en la precisión (Sabater y Vilumara, 1988; Westreicher, 2020).

2.2.1.1. Teoría de errores. En pocas palabras, la topografía se ocupa de la representación gráfica de la superficie terrestre. En la cartografía topográfica se miden ángulos y distancias. Al igual que otros sentidos, la vista humana tiene un límite en cuanto a lo que puede ver, por lo que cualquier medición realizada con la vista será sólo una aproximación. Además de realizar mediciones, los instrumentos topográficos también intentan aumentar la percepción visual y disminuir -aunque no erradicar totalmente- los errores derivados de los sentidos humanos. Dado que los instrumentos no son impecables, siempre pueden producirse errores de

manipulación. Mientras que algunos aparatos pueden adquirir el valor real de una medición, otros sólo pueden aproximarlos. Además, existen imprecisiones derivadas de factores externos como el viento o las fluctuaciones de temperatura (F. Domínguez, 1998).

Es habitual que se cometan errores al realizar trabajos topográficos, por lo que cada medición tomada se desviará algo de la verdadera magnitud. Estos errores pueden ser el resultado de fallos en el equipo topográfico o de límites en la visión humana. Existen varios tipos de errores que pueden producirse durante un levantamiento topográfico: errores reales y aparentes, errores absolutos y relativos, y errores sistemáticos y no intencionados (E. Segado, 1994).

2.2.1.2 Errores sistemáticos. Son acumulativos y constantes en condiciones de trabajo fijas sobre el terreno; mientras no cambien las condiciones, siempre tendrán la misma magnitud y signo algebraico, por ejemplo, en mediciones de ángulos, en equipos mal graduados o arrastre de graduaciones en tránsito, en cintas o estadillos mal graduados y en errores relacionados con la temperatura. Las correcciones son factibles para este tipo de errores (Navarro, 2014).

Además, son aquellos que, en condiciones de medición constantes, obedecen sistemáticamente a una determinada regla física o matemática, tienen la misma magnitud y signo algebraico y son acumulativos. Mediante el uso de técnicas sistemáticas sobre el terreno o ajustes de las mediciones, es posible determinar y reducir la magnitud de estos errores. Los errores en los sistemas son causas humanas, mecánicas o naturales (Gámez, 2015).

Dado que los errores sistemáticos, a menudo denominados errores

acumulativos, siguen reglas físicas modeladas matemáticamente, es posible determinar su magnitud y mitigar su impacto (Reyes y Hernández, 2001).

2.2.1.3 Errores accidentales. Una vez subsanados los errores sistemáticos, quedan los denominados errores accidentales. Estos errores son inevitables y dependen de diversos factores como el entorno de trabajo (viento, niebla, reverberación, etc.), el operador (limitaciones humanas), el instrumental y la técnica empleada (un nivel con mayor aumento nos permitirá hacer una mejor estimación de la lectura, por ejemplo). Al carecer de una ley que se les pueda aplicar, estos errores son aleatorios y no se pueden eliminar ni arreglar; sin embargo, podemos estimarlos y disminuir su impacto en el resultado utilizando técnicas probabilísticas (Videla).

Los errores que se producen accidentalmente están causados por una confluencia de factores que escapan al control del observador y para los que no es posible realizar ajustes. La magnitud y el signo algebraico de un error accidental en cada observación vienen determinados por el azar y no pueden calcularse. Dado que existe un efecto de compensación y que hay la misma probabilidad de errores accidentales positivos y negativos, se eliminan muchos errores accidentales. Las únicas formas de disminuir los errores accidentales son tener más cuidado al medir y realizar más mediciones (Gamez, 2010).

También conocidos como errores incidentales o no intencionados. Son aquellos que se mantienen en la medición, pero cuyo valor se desconoce; están fuera del control del observador y sujetos a las reglas del azar. Como estos errores tienen una cantidad y un signo aleatorios y no pueden estimarse, no pueden eliminarse. Como tienden a anularse en una

serie de mediciones, se denominan errores compensables. Sólo estos errores se pueden compensar. No existe ningún método para determinar los signos algebraicos de los errores aleatorios; dependen completamente del azar. Son los que siguen ahí después de haber eliminado las equivocaciones y los errores sistémicos. Mejorando las herramientas y los procesos empleados se puede disminuir la magnitud de estos errores (Jimenez, 2007).

Los valores no son los mismos y difieren algo si la misma cantidad se mide varias veces en las mismas circunstancias utilizando el mismo equipo. Naturalmente, algunas de estas discrepancias pueden atribuirse a errores de juicio. Sin embargo, también pueden atribuirse a otros muchos factores imprevisibles, como cambios mínimos en el entorno (temperatura, presión, movimiento de los soportes), variaciones en la atención del observador, fatiga ocular y errores de paralaje y, por último, variaciones en el propio instrumento (tensiones involuntarias en los soportes de los órganos, movimiento browniano, etc.). La teoría estadística de los errores se refiere a los errores casuales, que siguen reglas estadísticas (Prevosto y Mancinelli, 2002).

2.2.1.4 Errores climatológicos y atmosféricos. El equipo vibra debido al viento, por lo que las observaciones pueden no haber sido precisas en el momento de realizarlas. En algunas estaciones totales se instala un interruptor que activa el compensador automático y lo desactiva en cada punto según sea necesario. El uso de una plomada óptica es bastante beneficioso en estas situaciones. Las diferentes secciones de los instrumentos de precisión se dilatan de forma desigual debido a los cambios

de temperatura. La burbuja de los niveles de burbuja se desplaza en la dirección del extremo más caliente del tubo. Al proteger los instrumentos de los impactos del calor o el frío, se atenúan los efectos de la temperatura. Cuando se observa, la refracción desigual puede parecer ondulada, ya que desvía la luz. Evite realizar las mediciones antes o justo después de que el sol incida en la lente del objetivo. Hay situaciones en las que tiene sentido retrasar las observaciones hasta que la atmósfera se aclare (García, 2005).

2.2.2. Vehículo aéreo no tripulado (drone)

2.2.2.1 Definición

Conocidos por la mayoría como "drones", son vehículos aéreos autónomos que también pueden controlarse a distancia. Entre los muchos campos en los que se utilizan están la fotografía, la topografía, la fotogrametría, la geología, la publicidad, la meteorología y la agricultura. Tenga en cuenta que el tipo y el peso de los drones pueden variar, lo que los convierte en distintos tipos de aparatos (Ortega, 2015).

Los vehículos aéreos no tripulados, o UAV, son dispositivos sofisticados que pueden realizar multitud de tareas, ya que pueden utilizarse en lugares peligrosos, distantes o inadecuados para la presencia humana. Esto los hace perfectos para examinar cosas como edificios, puentes, superficies inclinadas, etc. (Vega, Ruíz y Francisco, 2017).

Figura 4.

Vehículo aéreo no tripulado (VANT)



Nota. La figura muestra un drone con cuatro hélices multirotor. Fuente: Google (drone).

2.2.2.2 Clasificación de drones***Según su forma de sustentación.*****Drones de ala fija**

La construcción se compone de alas fijas y fuselaje. Recuerda a los aviones tradicionales. En los aviones militares se suele utilizar este tipo de diseño estructural helicópteros militares (Reuter y Pedenovi, 2019)

Drones de ala móvil o multicópteros:

Los multicópteros, a menudo conocidos como multirotores, se definen como helicópteros con más de dos rotores o motores. Este tipo concreto de UAV se construye a partir de una serie de brazos que albergan toda la electrónica y otras partes de la construcción del dron y soportan los motores. Los drones multirrotor constituyen la mayor parte

de los drones utilizados con fines recreativos. Esto se debe a que este tipo de aeronave es ideal para la actividad principal que se está creando en la actualidad, que es el 90% del negocio que consiste en filmar imágenes y películas para el sector audiovisual (Reuter y Pedenovi, 2019)

A continuación, se enumeran las principales ventajas de los multirrotores:

- Despegue y aterrizaje vertical, que requiere menos espacio en tierra para operar. En cambio, los diminutos aviones de ala fija deben ser lanzados por personas o por catapultas mecánicas, y deben disponer de un paracaídas o de una autorización para el aterrizaje.

Mayor maniobrabilidad y precisión de vuelo. - La capacidad de volar en un lugar inmóvil (hover) o a velocidad extremadamente baja, lo que resulta muy apropiado para aplicaciones de inspección, la segunda actividad más esencial. Los sistemas multirrotor pueden volar casi cualquier trayectoria deseada en las tres dimensiones, mientras que los sistemas de ala fija siguen trayectorias curvas con radios de giro muy elevados y tasas de ascenso y descenso bastante ajustadas.

Esto les permite obtener fotografías extremadamente espectaculares, acercándose considerablemente al objetivo si es necesario y produciendo imágenes antes inalcanzables al fusionar el movimiento de la aeronave con la cámara de a bordo. En comparación con los aviones, pueden transportar más peso gracias a su diseño (Reuter y Pedenovi, 2019).

Las principales ventajas de estas aeronaves son las siguientes -

Son significativamente más autónomos con el mismo tamaño debido a su mayor eficiencia en comparación con los multirrotores.

- Son más adecuados para tareas de cartografía y teledetección, ya que pueden volar más rápido, lo que se une a la capacidad antes mencionada de cubrir una región o distancia mayor.

- Su huella sonora se reduce sustancialmente, lo que los hace más adecuados para tareas de vigilancia.

- Su rango climático es mayor en términos de temperatura, viento y precipitaciones a pesar de las restricciones mencionadas anteriormente. Teniendo todo esto en cuenta, se explica por qué los sistemas multirrotores dominan actualmente el mercado. Sin embargo, se espera que los sistemas de ala fija ganen peso en el futuro a medida que se desarrollen aplicaciones más sofisticadas que puedan recorrer distancias más largas y se desarrollen a mayor altura sobre el suelo, como en el caso de los militares (Reuter y Pedenovi, 2019).

Según el método de control.

En lo que respecta al control remoto de un avión, básicamente sólo hay cuatro modos de funcionamiento viables:

Modo manual: En este modo, el piloto remoto manipula las superficies de control y la potencia del motor o motores mediante un transmisor de radiocontrol.

En modo asistido, el piloto remoto comunica sus intenciones (girar a la derecha, ascender, etc.) a su emisora de radiocontrol, y un piloto automático traduce esas órdenes en acciones sobre las superficies de control o los motores que cumplen esos objetivos. Este modo es

similar al modo manual.

En piloto automático:

Antes de iniciar el vuelo, el piloto a distancia establece un "plan de vuelo", que consiste en un número determinado de waypoints. El piloto automático del avión ejecuta el plan realizando automáticamente las tareas necesarias en cada momento. No obstante, el piloto mantiene el control durante todo el vuelo, pudiendo ajustar los waypoints según sea necesario, realizar maniobras planificadas de antemano (incluida la "vuelta a casa" en caso de alarma), o incluso tomar el mando directamente, con ayuda o por su cuenta.

Modo autónomo:

Aunque se elabora un plan de vuelo, al igual que en el modo anterior, la aeronave ejecuta el plan por sí sola una vez que el vuelo está en marcha, incluso en situaciones de emergencia, anulando la necesidad de intervención humana. En el futuro, es posible que la aeronave ejecute toda la misión -por ejemplo, navegar por una infraestructura lineal mediante reconocimiento óptico, evitar posibles obstáculos en la trayectoria, etc.- sin necesidad siquiera de introducir un plan de vuelo (Reuter y Pedenovi, 2019).

Como ya se ha dicho, un dron sólo puede funcionar en uno de los tres primeros modos por definición. El modo autónomo no está permitido a menos que se trate de una emergencia provocada por la pérdida de contacto entre el piloto y la aeronave. Es obvio que los dos primeros modos -sobre todo el primero- exigen que la aeronave esté en la línea de visión del piloto o, como mínimo, que transmita información suficiente

para que el piloto conozca en todo momento el estado de la aeronave y su entorno y tome las decisiones adecuadas. Por ello, las condiciones de vuelo con visibilidad directa suelen ser las únicas en las que se utilizan los modos manual y asistido.

Sin embargo, hay que recordar que las aeronaves de ala fija son las únicas que suelen utilizar el modo manual. Las aeronaves de ala rotatoria suelen operar en modo asistido, sobre todo cuando tienen varios rotores, ya que para un piloto humano es todo un reto coordinar todas las actividades necesarias para mantener el equilibrio de la aeronave. Por ello, hay una tendencia a volar drones sólo en modo automatizado, o al menos en una especie de modo asistido en el que el piloto actúa como si estuviera a bordo recibiendo una imagen captada por una cámara orientada hacia delante conocida como visión en primera persona (FPV). Pero el modo automatizado también es excelente para misiones normales que impliquen vuelo en línea de visión, como la cartografía fotogramétrica. La posibilidad de utilizar menos pilotos experimentados y reducir así los costes de explotación es la principal ventaja que ofrece el modo automatizado (Reuter y Pedenovi, 2019).

Clasificación en función de la longitud de onda captada.

El dispositivo utilizado para tomar fotografías a longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780 nm se denomina óptica (pancromática).

800 nm. Estas cámaras para drones son modificaciones de los modelos ampliamente disponibles que han inundado el mercado en los últimos años.

Térmica o infrarroja: Tecnología que crea imágenes visibles para

el ojo humano utilizando emisiones infrarrojas medias del espectro electromagnético de los cuerpos detectados. El rango de longitud de onda de funcionamiento de estas cámaras es de 3 μm a 14 μm . Existen otros tipos que, para simplificar la lectura de la imagen, la procesan y muestran un mayor espectro de colores basados en valores predeterminados de longitud de onda.

Las cámaras termográficas son un tipo de cámara infrarroja pasiva. A diferencia de las cámaras infrarrojas pasivas, que detectan la radiación infrarroja tal y como la emite una persona sin necesidad de filtros, las cámaras infrarrojas necesitan reflectores. Debido a la enorme reducción de peso, tamaño y coste por el ahorro de componentes, es el tipo de cámara que más se instala en un UAV. (Reuter y Pedenovi, 2019).

Multiespectral e hiperespectral:

Un dispositivo que puede obtener imágenes de muchas longitudes de onda a la vez se denomina cámara multispectral; las bandas pueden o no ser contiguas, dependiendo de los resultados previstos.

Dependiendo de los resultados previstos, las bandas pueden o no ser continuas cuando se utiliza un pequeño número de longitudes de onda a la vez. Las fotos pueden procesarse y luego unirse de una determinada manera para crear una imagen de pseudocolor. Dado que cada sustancia tiene su propia firma espectral, una cámara montada en un dron puede diferenciar entre los distintos compuestos que se encuentran en un objeto. Al igual que las cámaras térmicas anteriores, estas cámaras son capaces de captar imágenes con una resolución de 1 a 5 cm/píxel. Esto reduce enormemente la resolución que puede

conseguirse con técnicas más convencionales, como satélites o aviones pilotados, que pueden dar resoluciones de decenas a cientos de metros por píxel (Reuter y Pedenovi, 2019).

2.2.2.3 Medición de la precisión haciendo uso de drone

Cuando se trata de trabajos fotogramétricos, la precisión que puede alcanzarse suele normalizarse y expresarse en función de la GSD (Ground Sampling Distance) para la planimetría y aproximadamente el doble de esta cifra para la altimetría. Sin embargo, una serie de variables, como la técnica de validación empleada y las condiciones de iluminación en el momento de la fotografía, afectarán a la precisión real posible. En consecuencia, es fundamental construir el viaje con precisión para satisfacer nuestras exigencias. Los puntos de control que nos permiten escalar, orientar y posicionar nuestro modelo dentro de un sistema de referencia también deben incluirse en la tarea. Podemos calcular la distancia entre dos ubicaciones de coordenadas conocidas en el elemento y utilizar esa información para escalar el modelo. Esto es lo más sencillo que podemos hacer. El mejor escenario sería suministrar a la tarea varias ubicaciones que rodeen el elemento y medirlas con precisión utilizando herramientas topográficas basadas en nuestros requisitos. Medir puntos adicionales que no se utilizarán para el procesamiento fotogramétrico es una forma interesante de recopilar un conjunto de datos para confirmar la precisión alcanzada. (Herreros, 2015).

2.2.2.4 Parámetros para planeación de vuelo

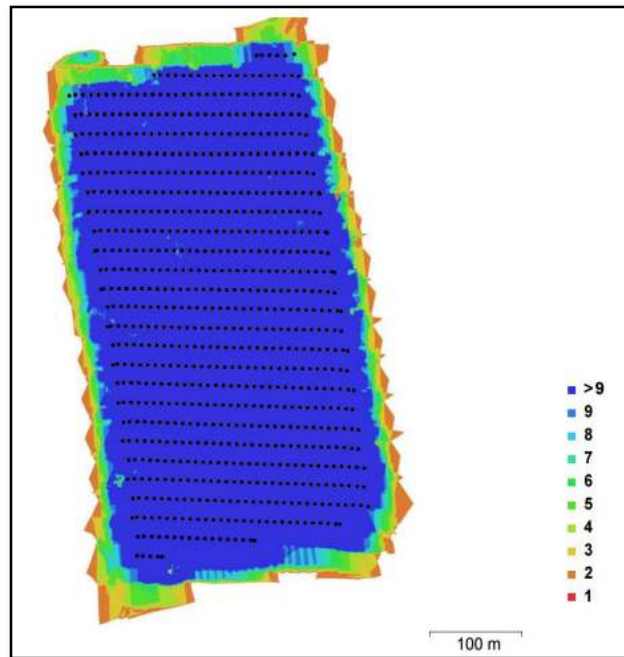
El tipo de terreno, su ubicación, sus detalles, la extensión que se

desea cartografiar, la resolución o escala que se desea alcanzar, la extensión que se desea cartografiar, y todos estos factores intervienen en el diseño de condiciones de vuelo. Al organizar un vuelo fotogramétrico, hay que tener en cuenta las condiciones meteorológicas, en particular la velocidad del viento. Es posible organizar muchas misiones con diversos criterios. Es necesario un proceso de planificación minucioso para establecer la altura, la velocidad, los intervalos de disparo y las distancias entre pasadas durante un vuelo fotogramétrico. Esto garantizará la obtención de las superposiciones fotográficas necesarias para el procesamiento adicional. El procedimiento que más influye en el calibre del resultado es la planificación del vuelo del dron. El solapamiento inadecuado entre fotografías y la ubicación/orientación incorrecta de las tomas son dos factores que suelen provocar problemas al realizar fotogrametría con drones (Reuter y Pedenovi, 2019).

Área del proyecto, la zona de interés más una región marginal adicional para garantizar la calidad de la zona de interés conforman la superficie terrestre que se pretende cubrir. Normalmente, la región periférica se extiende de diez a veinte metros más allá del polígono de interés por cada lado. La zona del proyecto suele estar delimitada por un polígono irregular con muchos lados y vértices. Es preferible crear formas simétricas siempre que sea posible y reducir al mínimo el número de lados (Dávalos)

Figura 5.

Solapamiento de fotografías (escala y grado).



Fuente: Aerofotogrametría inteligente AFI

El solape o recubrimiento es la distancia compartida entre dos fotos aéreas necesaria para proporcionar una vista estereoscópica de ambas y poder crear un modelo 3D. Se considera que el % de solapamiento se aplicará tanto longitudinal como transversalmente a la hora de asignarlo (Otero, 2001)

El porcentaje de recubrimiento dependerá de la zona donde se va a realizar el levantamiento topográfico:

Tabla 1.

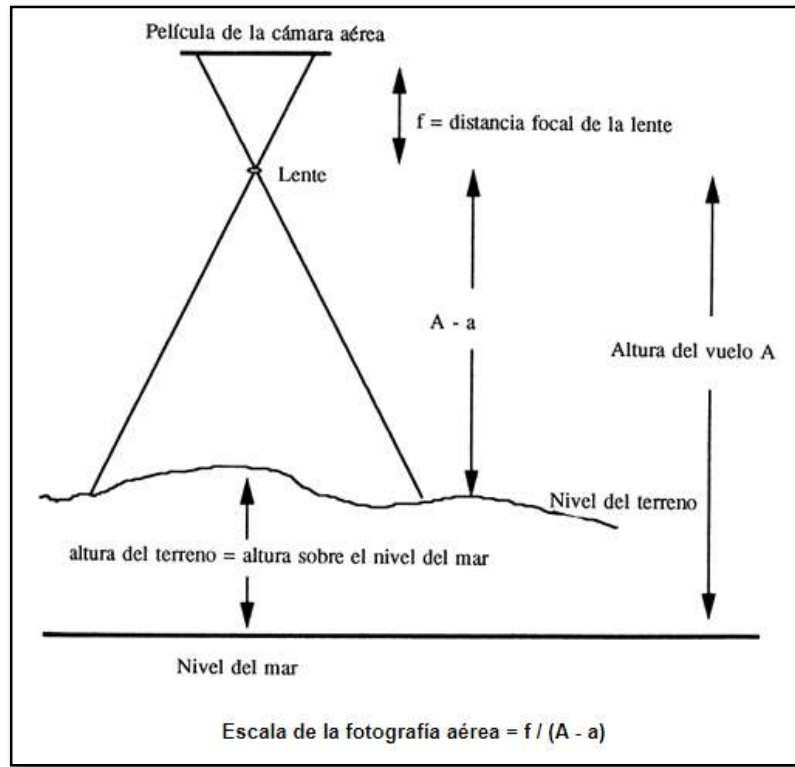
Porcentaje de recubrimiento de acuerdo al tipo de terreno

Tipo de Terreno	Recubrimiento (%)	
	Longitudinal	Transversal
Llano	60	25
Ondulado	65-70	25-30
Montañoso	70-80	30-35

Nota. Datos tomados de la dirección general de obras hidráulicas-
ministerio de fomento (2018).

Distancia Focal de la Cámara es la distancia entre el plano focal -donde se mira el negativo o la película- y el centro de proyección se denomina distancia focal o "f". La escala de la imagen viene establecida por esta distancia, por lo que Sánchez proporciona un ejemplo de cómo relacionar la distancia focal con el campo angular para estimar la escala final de la imagen (Sánchez, J., 2007).

La apertura, o ángulo de visión que puede captar cada imagen, viene dada por la distancia focal de las imágenes. El área cubierta por cada imagen, o la "huella" de cada instantánea, aumenta con una distancia focal más corta debido al mayor campo de visión (Dávalos).

Figura 6.*Distancia focal de la cámara.**Fuente:* Google (Escala de la Fotografía aérea)

Debido a sus numerosas ventajas, como el campo angular, las complejidades y deformaciones de los distintos terrenos y la economía del análisis fotogramétrico, las imágenes gran angular son las más utilizadas. Además, cubre mucho terreno y es útil tanto para la restauración como para la interpretación de imágenes. Por el contrario, garantiza que la precisión horizontal final será mayor cuanto mayor sea la distancia focal (Otero, I, 2001).

Tabla 2.

Denominación de los objetivos en función de la variación del campo de imagen y la distancia focal.

Distancia Focal	Objetivo	Campo de Imagen
88 mm	Supergranangular	120°
152 mm	Granangular	90°
200 mm	Normal	80°
300 mm	Angulo pequeño	60°

Fuente. Sánchez (2007).

Recolección de datos durante el vuelo fotogramétrico hay que tener en cuenta una serie de parámetros específicos. Para ello pueden utilizarse varias fórmulas matemáticas que garantizan la exactitud y precisión de los datos obtenidos. Es fundamental comprender este procedimiento, aunque el programa utilizado para planificar el viaje no siempre necesite la solución de estos problemas matemáticos. (Claros, Guevara y Pacas, 2016)

Escala de la fotografía aérea (Ef) viene dada por la siguiente relación:

$$Ef = \frac{1}{Mb} = \frac{Fc}{H}$$

Siendo:

Fc = distancia principal o distancia focal de la cámara

H = altura de vuelo sobre el terreno

Mb = Escala de la Fotografía

Fuente. (Claros, Guevara, Pacas, 2016)

Dado que el terreno nunca está exactamente nivelado, deben incluirse las depresiones más bajas y las mayores elevaciones para producir un valor medio equivalente a la escala práctica (Claros, 2016).

Nivel de GSD dependiendo de factores como la resolución de la cámara y la altura de vuelo, el programa o aplicación de planificación de vuelo que estemos utilizando determinará este valor. El nivel de detalle que podemos alcanzar disminuirá a mayor número de GSD, y viceversa, por lo que debemos tener en cuenta la calidad del trabajo que esperamos realizar (Dávalos).

Debido a su relación inversamente proporcional tanto con el tiempo de vuelo como con el valor de GSD, la altitud de vuelo juega un papel crucial en la planificación del vuelo del UAV. En consecuencia, la calidad disminuye y la duración del vuelo aumenta con el incremento de la altura de vuelo, y lo contrario también es cierto: cuanto mejor sea la calidad y mayor la duración del vuelo, menor será la altura de vuelo. Tendremos que modificarla en función de la duración de nuestra batería, del área que deseamos cubrir y del tipo de trabajo que esperamos realizar (Dávalos).

Figura 7.

Parámetros para el cálculo de la altura de vuelo



Fuente: Google (parámetros de altura de vuelo).

Siendo:

S_w = Anchura del sensor óptico (mm)

f_c = distancia focal (mm)

H = Altura de vuelo (m)

d = distancia cubierta en el suelo por una imagen (m)

mb = escala de la fotografía

Se calcula la altura de vuelo en proporción a la información expuesta obteniendo la expresión a continuación:

$$E = \frac{S_w}{d} = \frac{f_c}{H} = \frac{1}{mb}$$

$$H = mb * f_c$$

***Fuente:** Calculo de altura de vuelo (Claros, Guevara, Pacas, 2016)*

Velocidad de vuelo se sabe que tanto los drones de carreras como los vehículos aéreos no tripulados son capaces de superar los 30 m/s de velocidad. El desarrollo de altas velocidades no es necesario en AFI, sin embargo, puede ser más eficaz cuando se cubren rápidamente amplias regiones. Esto se debe a la velocidad de obturación de las cámaras, que sólo permite recoger imágenes hasta una determinada velocidad de movimiento en relación con el objeto. La AFI clasifica las velocidades de vuelo entre 10 y 15 m/s como altas, y 7 m/s como moderadas. Es importante tener en cuenta que los valores mencionados dependen de la velocidad de obturación de la cámara utilizada (Davalos).











Duración del vuelo Cuando planifiquemos el vuelo

fotogramétrico con el UAV debemos asegurarnos de que la duración prevista para nuestra misión no supera el 70% de la autonomía de vuelo de la capacidad de la batería. De este modo, el UAV dispondrá de tiempo suficiente para aterrizar en la zona designada (Dávalos) o regresar al punto de partida "Home".

El sensor, que es un elemento situado en la base del eje óptico de la cámara y que recibe la luz cuando se abre el obturador, es el corazón de la cámara. En ese preciso instante se proyecta una imagen sobre el sensor y se captura. Como cada píxel tendrá un mayor tamaño por separado y una mayor resolución, las imágenes tomadas con un sensor más grande serán de mayor calidad (Dávalos).

Figura 8.

Tamaño del sensor de diferentes tipos de cámaras

	Full frame	APS-C	4/3"	1/1.6"	1/3.2"
					
Tamaño sensor	36 x 24 mm	24 x 16 mm (aprox.)	17 x 13 mm (aprox.)	8.3 x 5.6 mm (aprox.)	4.5 x 3.4 mm (aprox.)
Área del sensor	8.6 cm ²	3.6 cm ²	2.25 cm ²	0.47 cm ²	0.15 cm ²
Representación del tamaño					

Fuente: Google (theimages.com)

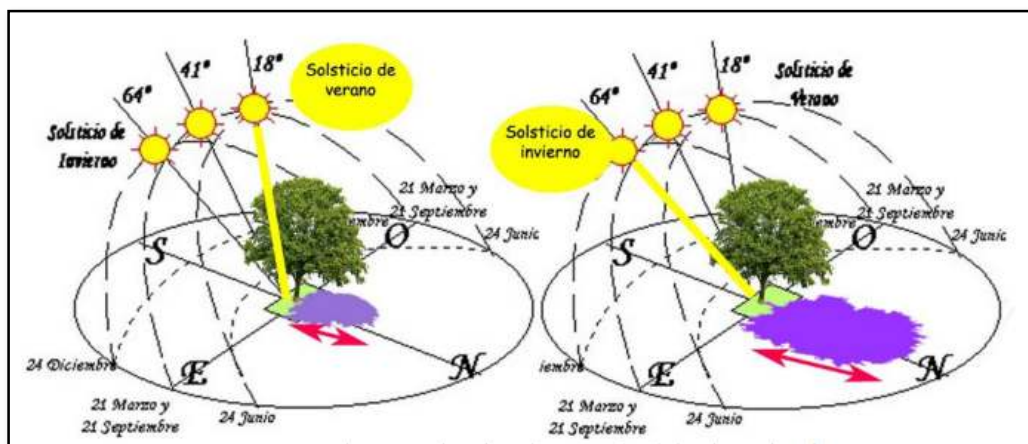
2.2.2.5 Planificación del vuelo

El proceso de creación del plan de trabajo de campo es a lo que nos referimos cuando hablamos de planificación de vuelos fotogramétricos con drones. Esto comienza con circunstancias atmosféricas como:

La luz es la energía que el sensor de la cámara detecta y utiliza para producir la imagen digital. El mediodía es un buen momento para hacer la foto porque hay luz natural y no habrá muchas sombras durante el día. Alternativamente supongamos que la superficie que queremos elevar recibe luz solar directa (Dávalos).

Figura 9.

Sombra en relación a la posición del sol en el cielo



Fuente: Google

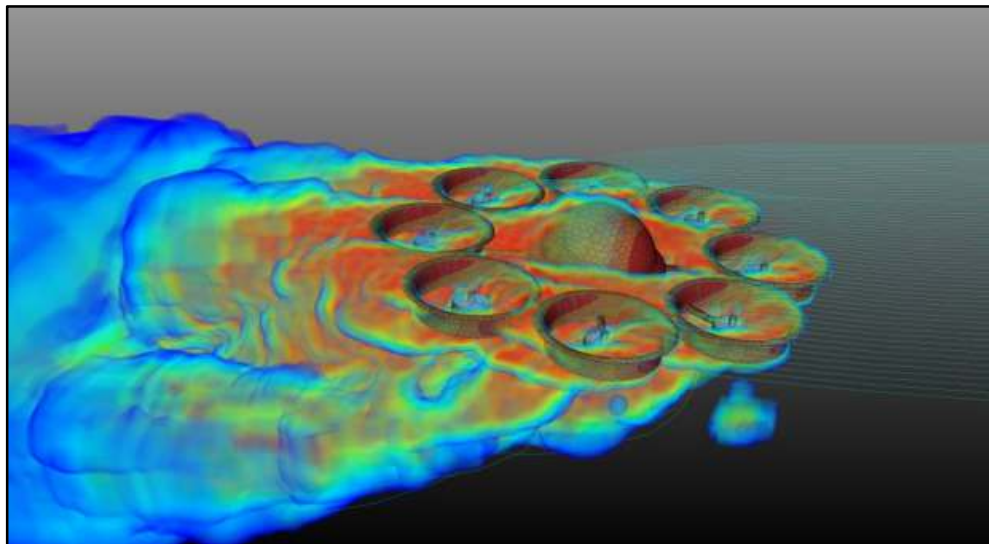
Viento: Una masa de aire que fluye en una dirección determinada hacia arriba, hacia abajo, lateralmente, en forma de remolinos, etc. Se denomina viento. Se produce por variaciones de la presión atmosférica y de la temperatura en distintos puntos geográficos. Como el aire se ha calentado y aligerado a lo largo de la mañana, suele dejar un hueco que posteriormente es ocupado por otras masas de aire más frío. Este movimiento provoca la formación de vientos, razón por la cual éstos son frecuentes por la tarde. Los UAV de ala fija superan a otros UAV en condiciones de viento. Disponen de un sistema aerodinámico que reduce con precisión la corriente de viento, así que, al hacer planes de vuelo,

téngalo en cuenta.

Para evitar que se desplace de su eje de vuelo primario, lo mejor es volarlo en la dirección del viento. Del mismo modo, volar con vientos superiores a 30 km/h se clasifica como viento moderado, mientras que más allá de 40 km/h se clasifica como viento fuerte. Este último requeriría más energía para superarlo debido a la resistencia del aire. Para evitar que se desplace de su eje primario de vuelo, vuela en la dirección del viento. De forma similar, volar con vientos superiores a 30 km/h se clasifica como viento moderado, mientras que más allá de 40 km/h se clasifica como viento fuerte. Este último requeriría más energía para superarlo debido a la resistencia del aire (Dávalos).

Figura 10.

Simulación de fluido dinámica computacional del aire con vuelo de octocoptero.



Nota. La figura muestra una simulación espectral del viento en contacto con el dron multirotor. Fuente: Google (Simulación de dron vs viento)

Lluvia: No es aconsejable volar con tiempo húmedo, aunque un

número cada vez mayor de vehículos aéreos no tripulados de hoy en día puede tolerar una lluvia suave. Es muy probable que sus fotos se destruyan y no serán útiles, aunque el equipo no haya sufrido daños por gotas de lluvia en el aire creen ruido o falsos puntos en el procesamiento. Así mismo se corre el riesgo que el lente de la cámara, pueda empañarse o distorsionar las imágenes por alguna pequeña gota que tenga en su superficie (Dávalos).

2.2.2.6 Apoyo Terrestre

Para recoger los puntos de apoyo con coordenadas G.P.S. para el apoyo topográfico, se colocan referencias o marcadores, también conocidos como blancos, alrededor de toda la superficie que se va a fotografiar.

El modelo fotogramétrico se convertirá en un modelo del terreno utilizando estos puntos. Tanto en los vuelos tripulados como en los no tripulados, los puntos de control son esenciales porque de ellos depende la georreferenciación del proyecto y porque garantizan que nuestros modelos digitales del terreno -que nosotros producimos- no estén desalineados en altura o posición. Para ello se pueden utilizar los siguientes (Reuter y Pedenovi, 2019):

Receptor GNSS La medición GPS debe realizarse mediante un enfoque diferencial, ya que la precisión de los puntos de demora debe coincidir con la escala del producto. Será útil para medir objetivos terrestres o puntos de control. Estos puntos de control pueden ser características naturales fácilmente identificables o pueden estar marcados previamente con señales u objetivos. Además, en caso de que la región en la que

vayamos a trabajar carezca de un sistema geodésico de referencia, esta tecnología puede utilizarse para conectar con él y crear una red topográfica preliminar (Reuter y Pedenovi, 2019).

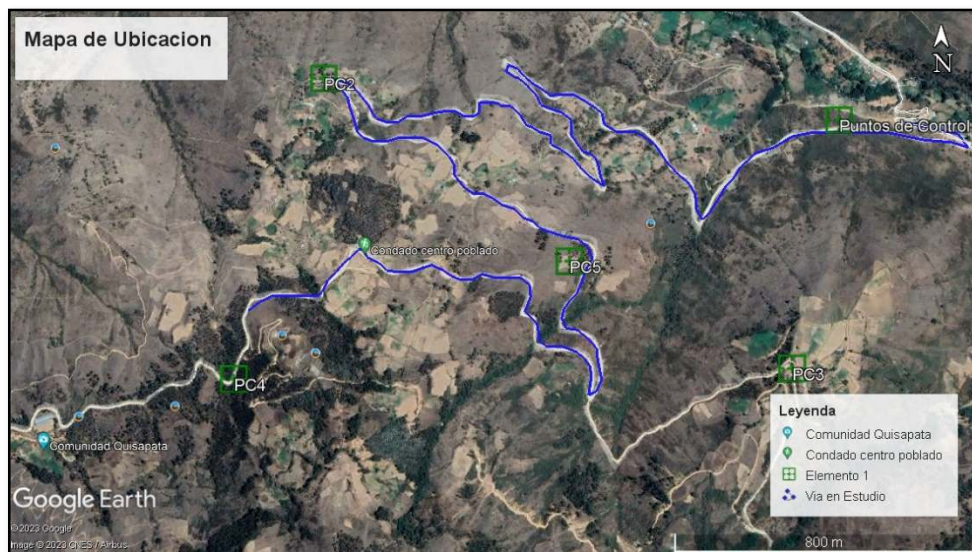
Estación Total Este tipo de construcción suele implicar componentes altos, como torres o tejados, en los que no es posible la medición por GPS. Para medir los puntos de control, colocaremos pequeñas dianas de tiro o, si esto no es factible, utilizaremos clavos, tornillos u otros detalles.

Para evitar errores durante el procesamiento, es fundamental dibujar croquis de estos puntos.

Para establecer una correlación exacta, los puntos sobre el terreno deben localizarse con precisión y marcarse en las fotos. Los mejores lugares para colocar los puntos de control se identifican durante el reconocimiento preliminar sobre el terreno; pero, en muchas situaciones, estas ubicaciones pueden no ser factibles debido a restricciones en la propiedad privada, vegetación que bloquea el paso, falta de carreteras, etc. (Reuter y Pedenovi, 2019).

Figura 11.

Ejemplo de puntos de control de un área de estudio



Nota. La figura da a conocer la forma de representación de los puntos de control. Fuente: Google Earth (Elaboración Propia).

El tamaño más pequeño de los marcadores u objetivos que se pueden utilizar vendrá determinado por el tamaño del píxel del terreno. objetivos o marcadores que se van a aplicar. Parece lógico que se necesite más de un píxel para identificar un marcador topográfico en la imagen. Para que esto funcione, se necesitan al menos tres o cuatro píxeles. Si se desea crear un vuelo con píxeles de 6 cm, las marcas que aparezcan como puntos de control o apoyo deberán tener un tamaño mínimo de 18 cm por 18 cm (Reuter y Pedenovi, 2019).

Figura 12.

Diana para georreferenciación visto desde el cielo.



Nota. La figura muestra un punto de control visto desde el cielo. Fuente: Google (Diana visto desde el cielo)

Figura 13.

Diana visto desde la superficie



Nota. La figura nos muestra el punto de control visto desde la superficie terrestre. Fuente: Google (Diana visto desde el suelo)

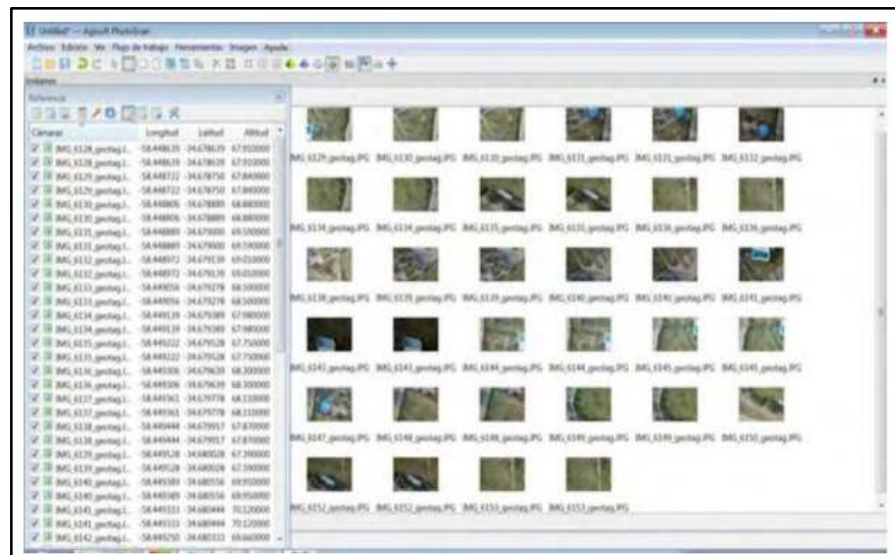
2.2.2.7 Registro Fotográfico

Después de tomar imágenes de acuerdo con el plan de vuelo, se graba la imagen de cada punto de ruta preestablecido. Es posible ver el

estado del dispositivo, su posición y los datos telemétricos en tiempo real mientras el dron está en vuelo. Además, la cámara de vídeo a bordo del dron permite el seguimiento en tiempo real. La memoria de almacenamiento de la cámara guarda las fotos que se toman. Los datos telemétricos y las fotos se descargan para procesarlos una vez finalizado el vuelo. La hora de captura de cada fotografía está vinculada a los datos de vuelo (Reuter y Pedenovi, 2019).

Figura 14.

Listado de fotografías



Nota. La figura nos muestra la recopilación de fotografías que tomo el vehículo aéreo no tripulado. Fuente: Reuter y Pedenovi (2019).

2.2.2.8 Procesamiento de las imágenes y cálculos

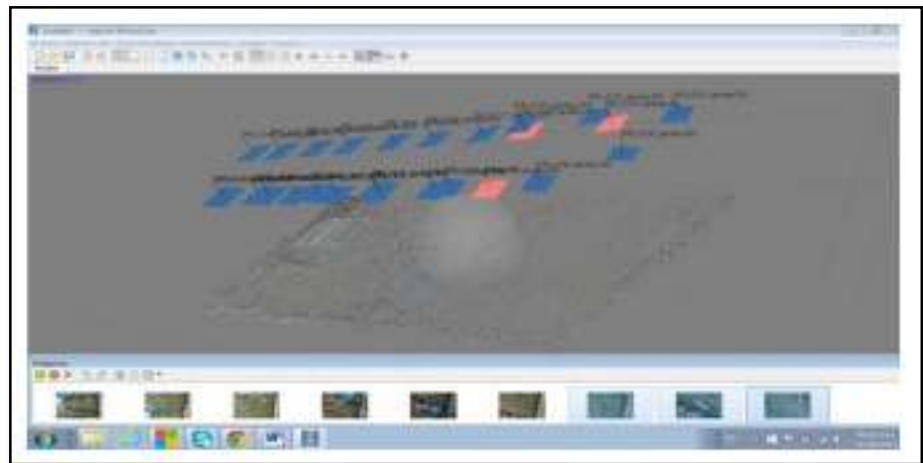
Los parámetros de orientación externa de cada fotografía se calculan una vez obtenidas las coordenadas del punto de apoyo y los parámetros asociados a partir de la telemetría descargada (figura 8). Estos parámetros se utilizarán para ajustar la perspectiva de cada imagen (Cortés, 2021).

Los datos asociados a cada imagen son:

- Coordenadas GPS (Latitud y Longitud).
- Actitud del dron (yaw, pitch y roll, la rotación del avión en los tres ejes de navegación).
- Altura de vuelo
- Distancia Focal de la cámara

Figura 15.

Reconstrucción de la posición de las cámaras y malla del objeto

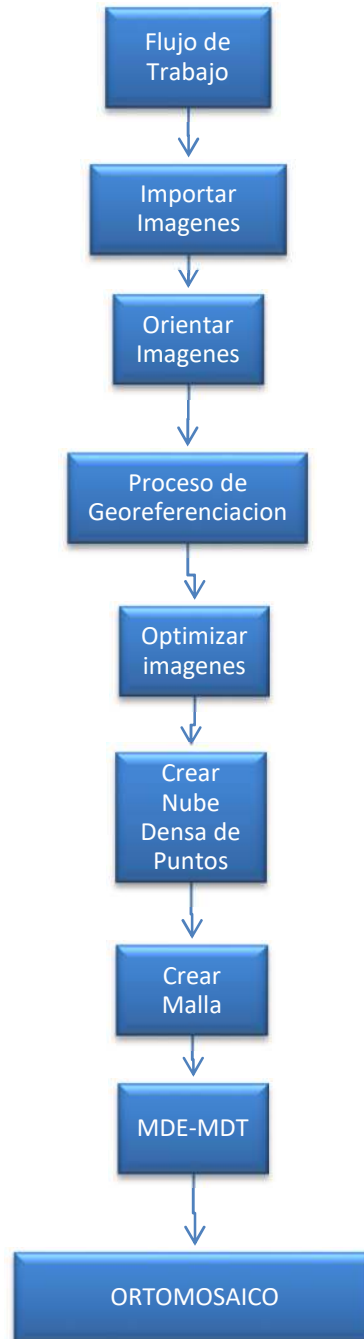


Fuente: Cortés (2021).

Para el procesamiento de datos se puede realizar con el Software que más le convenga como puede ser PIX4D, Agisoft Photoscan, Etc. Siguiendo el siguiente esquema de flujo de trabajo de procesamiento de imágenes general.

Figura 16.

Esquema del procesamiento de datos en gabinete



Nota. La figura muestra el proceso de elaboración de una fotografía

Ortomosaico Fuente: Elaboración Propia.

2.3 Marco conceptual

- **Precisión:** el nivel de precisión con el que se realiza una medición o el nivel de excelencia con el que se utilizan las herramientas y los procedimientos para obtener un resultado. una señal de lo consistente o repetible que es un resultado. A diferencia de la exactitud, que está relacionada con la calidad del resultado, la precisión tiene que ver con el calibre de la manipulación que produce un resultado (Jimenez, 2007).
- **Levantamiento Topográfico:** Para investigar, analizar y realizar ajustes, este tipo de actividad busca recopilar información y componentes del campo que se representan ortogonalmente, en tamaño, en papel o gráficamente (Machado, 2022).
- **Altimetría:** Este método se creó para medir la altura, también conocida como relieve vertical o irregularidad del terreno, e interpretar los datos que arroja. Su objetivo es hallar la diferencia de altura entre dos lugares con respecto a un plano de comparación, generalmente el nivel del mar o un plano de comparación arbitrario (García, 2005).
- **Planimetría:** Examina las herramientas y técnicas para proyectar con precisión las ubicaciones de los puntos más significativos del terreno sobre una superficie horizontal nivelada con el fin de crear una figura que se asemeje a la real. La planimetría se utiliza para diversas tareas, como el cálculo de superficies, la división de terrenos en parcelas, el replanteo de líneas existentes o dañadas, la creación de planos del terreno, etc. (Gámez, 2010).
- **Topografía:** Ciencia aplicada que investiga las técnicas y protocolos de medición sobre el terreno, así como su representación analítica o gráfica a

una escala determinada (Alcantara, 2014 pág. 2).

- **Drone:** Investigación alternativamente abreviado como UAV, o "vehículo aéreo no tripulado", este término se refiere a un vehículo aéreo no tripulado (UAV) controlado a distancia por una unidad de radiocontrol o programado por software para realizar un vuelo seguro y programado. También se utilizan las siglas "Unmanned Aerial System" (UAS) y "Remotely Piloted Aircraft" (RPAS) para referirse a él. (Dávalos P.)
- **Estación Total:** Es el gadget en sí, que se compone de teclado, monitor, CPU interna para almacenamiento y procesamiento de datos, y lente telescópica con objetivo láser. Funciona con baterías de litio recargables (Hernández, 2011).
- **Carretera:** carretera destinada principalmente a la circulación de vehículos de motor; suele ser una vía interurbana.
- **Fotogrametría:** Se reconoce como la ciencia y la tecnología de la utilización de fotos tomadas por diferentes formas de teledetección para extraer información cuantitativa, mientras que la fotointerpretación es el estudio cualitativo y la interpretación de estas fotos (Zapata, 2003).
- **Triangulación:** La triangulación es una técnica topográfica que permite localizar un lugar "desconocido" en un mapa utilizando rumbos hacia (o desde) tres lugares conocidos (Flavelle, 2002).
- **Georreferenciación:** También conocida como rectificación, la georreferenciación es el acto de localizar un elemento en un sistema de coordenadas geográficas diferente al de su ubicación actual (Dávila y Camacho, 2012).
- **Ortofoto:** Este tipo de imagen ha sido ajustada para tener en cuenta los

impactos de las pendientes e irregularidades del terreno, así como la inclinación de la cámara con respecto al plano de referencia. Una imagen convertida de un punto de vista cónico central a una perspectiva ortogonal se denomina ortofoto (Reuter y Pedenovi, 2019).

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El análisis de los resultados al realizar la comparación de la precisión en los levantamientos topográficos ejecutados mediante drone es superior que los resultados de los levantamientos realizados con los métodos convencionales en la carretera Karcatera-Abancay-2023.

3.1.2 Hipótesis específicas

1. El error general de un levantamiento topográfico mediante drone es menor que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

2. El tiempo de realización de un levantamiento topográfico mediante drone es menor que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

3. El costo general de un levantamiento topográfico mediante drone es menor que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

3.2 Método

El método a emplear es el método científico, según sintetiza Cabezas et al. (2018) Es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para probar o verificar hipótesis a través de resultados científicamente válidos. El desarrollo de la investigación estará bajo un enfoque **deductivo**, donde interesa la medición y cuantificación, que utiliza la estadística como herramienta (pág. 58). Basa su estudio en medidas numéricas, recopila datos mediante la observación de procesos y, a continuación, analiza la información recogida para encontrar respuestas a sus preguntas de investigación. Para probar las hipótesis previamente planteadas, recopila datos, mide parámetros, obtiene frecuencias y emplea estadísticos de la población de estudio (Iglesias, 2004).

3.3 Tipo de investigación

Es de Tipo **Explicativa**, Arias y Covinos (2021) afirman que se basa en las conclusiones, los resultados y las soluciones esbozadas en el objetivo del estudio (p. 68), es decir, se forman problemas o hipótesis de trabajo para abordar cuestiones sociales basadas en la investigación fundamental o pura.

3.4 Nivel o alcance de la investigación

Enfoque es descriptiva. Según Sampieri (2004), centrado en describir o recoger datos sobre cada una de ellas para caracterizar el tema investigado (pág. 105).

3.5 Diseño de la investigación

Kerlinger y Lee (2002) señalan que la investigación se caracteriza por la creación de un diseño **no experimental**, que consiste en observar los acontecimientos tal y como ocurren en su entorno natural y analizarlos después, de acuerdo con la naturaleza de los objetivos y el tema de estudio. En un estudio no experimental, las condiciones preexistentes se observan en lugar de ser

provocadas intencionadamente por el investigador con el propósito del estudio. Las variables independientes en la investigación no experimental son las que suceden y no pueden controlarse; como señala Sampieri (2004), no es concebible ni el control directo ni la influencia sobre estas variables porque ya han ocurrido y ya se han sentido sus impactos.

3.6 Operacionalización de variables

3.6.1 Variable dependiente

Y: Medición de la variabilidad de la precisión de los equipos utilizados

3.6.2 Variable independiente

X1: Medición de la precisión de la carretera Karcatera con equipo aéreo no tripulado (drone)

X2: Medición de la precisión de la carretera Karcatera con equipos convencionales (estación total y GPS diferencial)

Tabla 3

Tabla de operacionalización de variables

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES						
Variables	Dimensiones	Indicadores	Tipo	Escala	Valor	
Variable Dependiente medición de la variabilidad de la precisión de los equipos utilizado concepto: grado de cercanía que presentan los resultados obtenidos a partir del control de las mismas condiciones.	Dimensión 1: Error de Operador Los factores humanos constituyen las características físicas, psicológicas y sociales que afectan la interacción humana con los equipos, sistemas, procesos, otras personas y equipos de trabajo Fuente: OCIMF (s.f.)	1.1 Distribución Normal	Cuantitativa	De Razón	Porcentaje (%)	
		1.2 Métodos Probabilísticos	Cuantitativa	De Razón	Porcentaje (%)	
	Dimensión 2: Error Sistemático Son atribuibles al instrumental, al método utilizado o a las condiciones de medición. Se pueden manifestar en todas las observaciones o ser errores sistemáticos intermitentes. Su principal característica es que hay una ley física que describe su comportamiento, si ésta se conoce, se puede cuantificar su influencia en las mediciones y por lo tanto corregir las mismas Fuente: Videla (s.f.)	2.1 Distribución Normal	Cuantitativa	De Razón	Porcentaje (%)	
		2.2 Calibración del Equipo	Cuantitativa	De Razón	Porcentaje (%)	
	Dimensión 3: Errores Climatológicos y Atmosféricos La topografía estudia la superficie de la tierra describiendo sus formas circunstanciales; es decir, sus accidentes ya sean naturales o artificiales (mano del hombre), posibilitando que se trasladen a un gráfico o plano Fuente: Espinoza (2017)	3.1 Viento	Cuantitativa	De Razón	m/s	
		3.2 Temperatura	Cuantitativa	De Razón	°C , °F , K	
		3.3 Refracción	Cuantitativa	De Razón	Índice de Refracción	
		3.4 Precipitaciones	Cuantitativa	De Razón	mm/hr	
	Variable independiente 1 medición de la precisión de la carretera Karcatera con equipo aéreo no tripulado (drone)	Dimensión 1: Planificación La planeación abarca la definición de las metas de una organización, el establecimiento de una estrategia general para lograr esas metas y el desarrollo de una jerarquía amplia de los planes para integrar y coordinar las actividades. Fuente: Robbins (1998)	1.1 Tiempo	Cuantitativa	De Razón	Días
			1.2 Costo	Cuantitativa	De Razón	Soles

Variable independiente 02 medición de la precisión de la carretera Karcatera con equipos convencionales (estación total y GPS diferencial)	Dimensión 2: Trabajo de Campo Puede ser definido en general como un tipo de aprendizaje experimental que los estudiantes realizan fuera del aula tradicional a través de un nuevo modo de aprendizaje. Fuente: Ramachandiran y Dhanapal (2016)	2.1 Tiempo	Cuantitativa	De Razón	Días
		2.2 Costo	Cuantitativa	De Razón	Soles
		2.3 Precisión	Cuantitativa	De Razón	Valor Absoluto
	Dimensión 3: Trabajo de Gabinete Consiste en el proceso de datos y su análisis. Para este proceso primero se tienen que clasificar los datos a través de la codificación y tabulación, después se hace un análisis donde se van a interpretar los datos para luego hacer un informe que contenga los resultados de los mismos. Fuente: Gonzales (s.f.)	3.1 Tiempo	Cuantitativa	De Razón	Días
		3.2 Costo	Cuantitativa	De Razón	Soles
		3.3 Precisión	Cuantitativa	De Razón	Valor Absoluto
	Dimensión 1: Planificación La planeación es la primera función administrativa por que sirve de base a las demás funciones. Esta función determina por anticipado cuales son los objetivos que deben cumplirse y que debe hacerse para alcanzarlos. Fuente: Chiavenato (1999)	1.1 Tiempo	Cuantitativa	De Razón	Días
		1.2 Costo	Cuantitativa	De Razón	Soles
	Dimensión 2: Trabajo de Campo El trabajo son una de las acciones más importantes que los educadores pueden brindar para sus estudiantes, ya que no solo amplían el aprendizaje y la experiencia de estos, sino que también aumentan la comprensión del medio en que viven. Fuente: Mahgoub y Alawad (2014)	2.1 Tiempo	Cuantitativa	De Razón	Días
		2.2 Costo	Cuantitativa	De Razón	Soles
		2.3 Precisión	Cuantitativa	De Razón	Valor Absoluto
		Dimensión 3: Trabajo de Gabinete Consiste en el proceso de datos y su análisis. Para este proceso primero se tienen que clasificar los datos a través de la codificación y tabulación, después se hace un análisis donde se van a interpretar los datos para luego hacer un informe que contenga los resultados de los mismos. Fuente: Gonzales (s.f.)	3.1 Tiempo	Cuantitativa	De Razón
3.2 Costo			Cuantitativa	De Razón	Soles
3.3 Precisión			Cuantitativa	De Razón	Valor Absoluto

Nota. En este cuadro se muestra la tabla de operacionalización de variables, así mismo las dimensiones, los indicadores, tipo, escala y valor.

3.7 Población, muestra y muestreo

Población

Los resultados de la investigación se aplicaron a esta colección limitada o infinita de ítems que tienen propiedades similares (Arias, 2006, p. 81). El tema a estudiar y los objetivos de la investigación definirán sus características (Arias, 2006).

En ciertas situaciones, Tamayo (2003) afirma que la similitud entre unidades de análisis comprende un conjunto característico denominado población (p. 175) al hablar del tema de población. En este caso, la población se basa en la longitud de la carretera (AP-103), que une los centros poblados de Sorcca y Karcatera en el distrito y provincia de Abancay. La vía tiene una longitud aproximada de 41,5 km.

Figura 17.

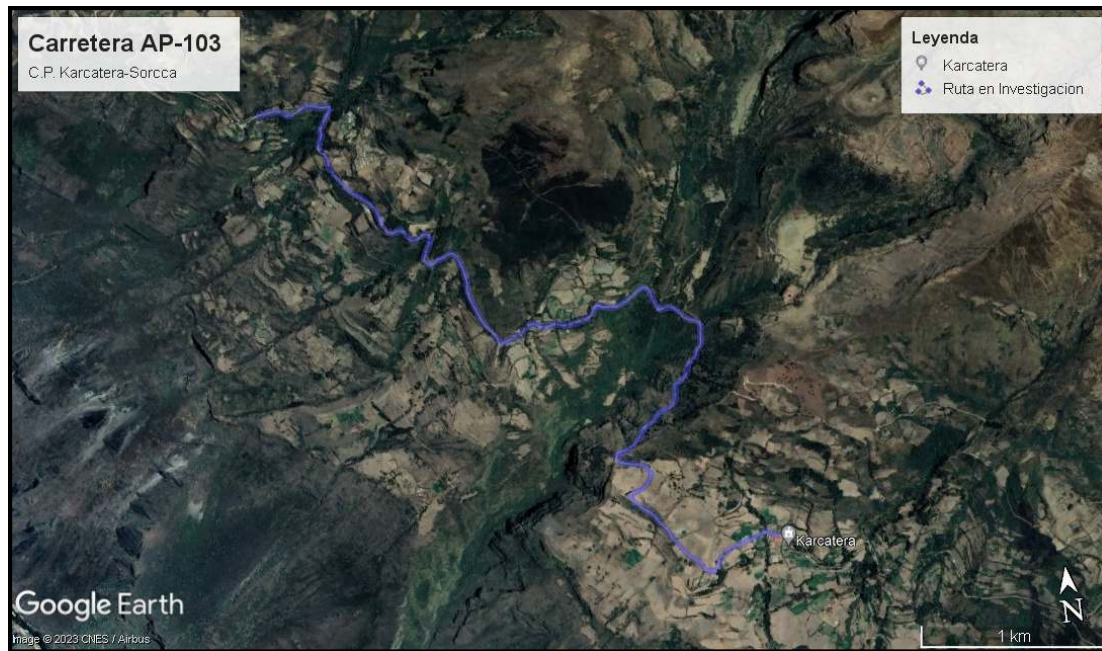
Inventario vial de la ruta AP-103, sectorizado km-15 hasta el km-21



Nota. La figura nos muestra el trayecto general donde se realizó el presente proyecto de investigación. Fuente: tomado de (MTC, 2017)

Figura 18.

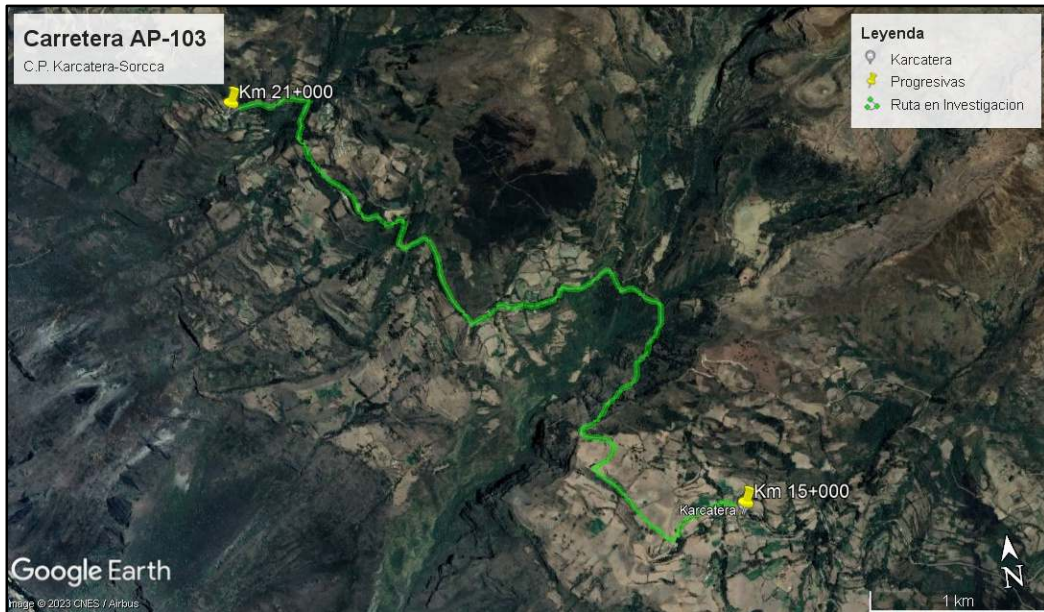
Ubicación de la carretera



Nota. La figura muestra la zona y el trayecto exacto del proyecto de investigación presente. fuente: (Google Earth, 2023).

Muestra

Se refiere a una parte de un conjunto de datos que representa a la población general y que ayuda a garantizar que los datos sean precisos y exactos (Arispe, y otros, 2020 pág. 74) en ese sentido la muestra compone 4.00km que estará ubicado entre las progresivas 15+000 y 19+000 de la carretera AP-103, que une el C.P. Karcatera y Sorcca, tomando como punto inicial la progresiva 15+000.

Figura 19.*Progresivas de la carretera en estudio*

Fuente: Tomado de (Google Earth, 2023)

En cuanto al muestreo es no probabilístico de tipo intencional. Este tipo de muestreo se caracteriza porque los elementos o el subconjunto se seleccionan según sus características bajo el criterio del investigador (Arispe, y otros, 2020 págs. 76-77)

3.8 Técnica e instrumento

3.8.1 Técnicas

La técnica a emplearse es la observación, que consiste en observar detenidamente un fenómeno, hecho o incidente, recopilar información y registrarla para su posterior análisis. Esto brinda información confiable y segura para el desarrollo de temas de investigación y es la clave para obtener datos veraces sobre hechos, casos o fenómenos.

La técnica en el presente proyecto se divide en los siguientes procesos:

Diagnóstico y planeamiento de levantamientos topográficos.

En esta etapa se recopila toda la información de trabajos precedentes y del sector en estudio, incluyendo información cartográfica y documentos haciendo uso especial de aquella información que permita establecer una metodología apropiada para el estudio del análisis comparativo de levantamientos topográficos mediante drone, Estación Total y GPS diferencial, así como aquellas variables determinantes que establezcan una comparativa causal entre el drone, la estación total y el GPS diferencial.

Desarrollo del trabajo de campo.

Es el conjunto de operaciones que se desarrollaran en la carretera y se reduce a la obtención de datos levantados respectivamente con cada equipo utilizado, anotándose en las fichas de observación, en el trabajo de campo se establecen los puntos y líneas de referencia con respecto a ellos se determinara la posición de los detalles de la vía en estudio. Básicamente la etapa de campo se recopila datos utilizando el drone, la estación total y el GPS diferencial para crear un modelo de elevación digital (DEM).

Trabajo de Gabinete.

Este paso, los datos se procesan mediante un software especializado que se ha sistematizado y se ajusta al equipo utilizado para crear el modelo digital de elevación de la ruta Karcatera-Sorcca.

3.8.2 Instrumentos

Según Arizpe (2022) Los medios de evaluación para la recopilación de información que utilizan indicadores para calificar los valores numéricos.

Los instrumentos que se usarán serán los siguientes:

Tabla 4.

Descripción de las fichas para cada equipo que se utilizara

ficha técnica del indicador	anexo
Ficha de Diagnostico	anexo 2
Ficha de Levantamiento con Estación Total	anexo 3
Ficha de Levantamiento con Drone	anexo 4
Ficha de Levantamiento con GPS-Dif	anexo 5

Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

3.9 Consideraciones éticas

En cuanto a la metodología, la presente investigación se llevará a cabo de forma que respete y cumpla las leyes, las obligaciones y las consideraciones éticas a fin de alcanzar los objetivos del estudio a través de la ética profesional. Aristóteles define la ética profesional como la primera versión de la ética, que es un compromiso válido asumido por la humanidad y que debe permitir el progreso personal, es decir, el compromiso asumido con uno mismo de ser siempre mejor persona.

De acuerdo con los lineamientos establecidos por el comité de ética en investigación de la Universidad Tecnológica de los Andes (2015), cuyo objetivo es orientar la conducta de los investigadores, educadores y estudiantes en cuanto a la adhesión al código de ética, el investigador está dispuesto a cumplir con sus responsabilidades y apearse a la normatividad durante el desarrollo de su investigación.

Pérez (2012) describe la ética como una disciplina científica que examina la moralidad humana en la sociedad y proporciona una visión de cómo las personas

se relacionan entre sí sobre la base de lo que la moral considera normas generalmente reconocidas.

3.10 Procedimiento estadístico

Para el análisis se aplicaron cálculos matemáticos y para el análisis de tendencias, parámetros de tendencia central y tendencia variacional de acuerdo a los niveles de datos máximos se aplicaron la prueba de t student para la contratación de hipótesis.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

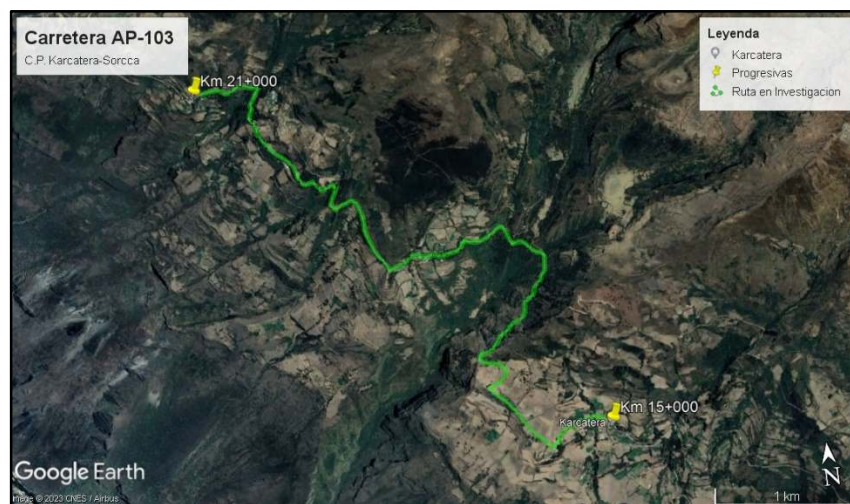
4.1. Resultados

4.1.1 Fase 1: Planeación y trabajo de campo

4.1.1.1 Planeación

Figura 20.

Tramo en donde se realizó los diferentes levantamientos



Fuente: Google Earth

En esta etapa se realizó el planeamiento de equipos, materiales que se necesitará, personal técnico, y toda la logística necesaria para realizar los diferentes levantamientos topográficos con éxito.

4.1.1.2 Trabajo de campo

4.1.2.1 Levantamiento topográfico con GPS-diferencial

Equipos

- 01 GPS Diferencial /inc. todos sus componentes
- 01 Tripode
- 02 Radios
- 02 Celulares

Procedimiento de medición del GPS diferencial

- El proceso se inició con la preparación, ajuste del trípode y la instalación de la base del GPS diferencial, junto con la colocación de la antena y el Rover en el soporte del prisma, el cual se ubicará en cada uno de los puntos de referencia.
- Se procedió a activar y configurar la nueva tarea, especificando que los datos recopilados deben estar en formato de coordenadas UTM y utilizar el Datum WGS 84.
- Se registró para el punto base con 25 satélites, aumentando a medida del avance de la toma de los puntos de control.
- Se situó el Rover en cada punto de referencia, proporcionando datos de cada punto, que incluyen la latitud, longitud, la cantidad de satélites utilizados para su referencia, el inicio y final de la toma de datos, la distancia desde la base y una descripción del punto de referencia
- El equipo nos presentó la secuencia de ubicación de los puntos, asignando a cada uno sus correspondientes coordenadas y altitudes. Después de recopilar todos los puntos, se guardó el proyecto y se procedió a desmontar los equipos, para luego procesar los datos en el entorno de oficina.

4.1.2.2 Levantamiento topográfico con estación total

Equipos

- 01 Estación total /Inc. todos sus componentes
- 01 Tripode
- 03 Prismas
- 03 Porta prismas
- GPS-navegador
- Wincha
- 02 Radios

Procedimiento de Medición con la Estación Total

- Es importante seleccionar la ubicación óptima para la estación total, eligiendo un punto que nos permita tener la mejor visibilidad de la mayoría de los puntos en el área de levantamiento (polígono). Este punto se identifica mediante un nombre específico.
- Situamos la estación total en el punto seleccionado, realizamos el ajuste de nivel, orientamos la estación hacia el norte y configuramos el equipo.
- Para la segunda estación y los puntos subsiguientes, se toma como referencia el punto tomado previamente al final y se continúa con la toma de los demás puntos.
- El levantamiento topográfico se inicia disparando hacia los prismas dispuestos a una altura de 1.50 metros, ubicados a intervalos de veinte metros en las secciones rectas del camino, y cada diez metros en caso de curvas. Esto incluye la toma de datos a lo largo del eje de la vía, en los extremos de los carriles, en los taludes y en las estructuras como alcantarillas, entre otros elementos.

- Es fundamental ejercer una gran precaución y permanecer alerta al momento de tomar los puntos que están marcados como BMs, ya que estos serán esenciales como datos para llevar a cabo el proceso de cálculo, comparación y obtención de resultados.
- Concluimos la recolección de datos topográficos y almacenamos la información recopilada en un nuevo proyecto, procedemos a guardar los equipos y aguardamos el procesamiento de los datos, que se lleva a cabo en el entorno de oficina.

4.1.2.3 Levantamiento topográfico con drone

Equipos

- 01 DJI drone mavic
- 02 Baterias
- 01 Control remoto del drone
- 01 Celular con aplicación del drone
- 02 Radios

Procedimiento de medición con el drone mavic

- Se dio inicio al proceso de ensamblaje de las hélices del dron, al mismo tiempo que se procedió a instalar la cámara.
- Se llevó a cabo la activación y la configuración del nuevo proyecto, estableciendo la ruta de vuelo y programando al dron para que retorne al punto de partida. Cada vuelo se dividió en un total de 5 misiones
- Se procedió al registro del inicio del vuelo con la recepción de señales de 18 satélites, y a medida que avanzaba a lo largo de la ruta, se realizaron las tomas fotográficas.

- El equipo almacena las imágenes junto con sus correspondientes coordenadas y altitudes.
- Una vez que la misión programada llega a su fin, el dron registra su regreso al punto de origen. Después de recopilar todas las fotografías, se guarda el proyecto y se procede al procesamiento de datos en la oficina.

4.1.3 RESULTADOS DE GABINETE

Tabla 5.

Datos del primer levantamiento con estacion total.

PUNTOS DE CONTROL	ESTACION TOTAL		
	ESTE	NORTE	COTA
BM1	719928.574	8496092.792	3439.352
BM2	719927.733	8496100.648	3438.815
BM3	720034.745	8495897.153	3442.662
BM4	720041.736	8495898.185	3442.858
BM5	720133.214	8495676.713	3438.274
BM6	720173.430	8495588.601	3437.683
BM7	720177.358	8495596.591	3436.503
BM8	720394.136	8495660.511	3431.282
BM9	720396.905	8495666.860	3429.662
BM10	720659.178	8495667.240	3422.561
BM11	720660.746	8495660.300	3422.942
BM12	720888.301	8495737.257	3411.410
BM13	720897.367	8495735.559	3410.852
BM14	721045.229	8495670.564	3400.580
BM15	721044.287	8495661.054	3400.196
BM16	721256.435	8495568.750	3385.860
BM17	721249.945	8495564.298	3385.428
BM18	721161.743	8495350.447	3375.617
BM19	721168.924	8495350.410	3375.290
BM20	720964.321	8495106.828	3363.573
BM21	720955.555	8495109.867	3362.628
BM22	720714.602	8494934.557	3354.692
BM23	720717.021	8494919.000	3353.313
BM24	720870.759	8494838.149	3353.456
BM25	720870.360	8494827.580	3354.171
BM26	720747.102	8494682.377	3350.943
BM27	720779.154	8494664.632	3350.394
BM28	720942.795	8494450.341	3338.803
BM29	720949.938	8494454.736	3338.064
BM30	721166.447	8494259.014	3323.880
BM31	721454.186	8494414.987	3307.053
BM32	721524.536	8494370.034	3303.573
BM33	721525.185	8494369.298	3305.503
BM34	721537.368	8494364.453	3303.844
BM35	721546.487	8494368.620	3303.347

Nota. En este cuadro se presentan las coordenadas registradas este, norte y altura.

Tabla 6.

Datos del primer levantamiento con drone-mavic.

PUNTOS DE CONTROL	DRONE		
	ESTE	NORTE	COTA
BM1	719928.239	8496092.238	3437.381
BM2	719927.417	8496100.148	3437.303
BM3	720034.773	8495896.905	3440.680
BM4	720041.744	8495897.906	3440.445
BM5	720133.586	8495676.732	3435.572
BM6	720173.997	8495588.775	3435.796
BM7	720177.941	8495596.739	3435.058
BM8	720394.399	8495661.063	3428.067
BM9	720397.158	8495667.371	3427.410
BM10	720659.252	8495667.799	3420.779
BM11	720660.801	8495660.823	3421.018
BM12	720888.329	8495737.926	3409.152
BM13	720897.444	8495736.299	3408.622
BM14	721045.899	8495670.506	3397.658
BM15	721044.950	8495661.045	3398.688
BM16	721256.545	8495570.276	3384.160
BM17	721250.084	8495565.805	3383.140
BM18	721162.165	8495351.877	3374.045
BM19	721169.233	8495351.902	3373.941
BM20	720964.724	8495106.973	3361.598
BM21	720955.994	8495109.910	3361.401
BM22	720715.193	8494934.747	3350.728
BM23	720717.543	8494919.212	3350.500
BM24	720871.089	8494838.202	3351.274
BM25	720870.681	8494827.588	3351.026
BM26	720747.565	8494682.549	3349.281
BM27	720779.479	8494664.752	3349.101
BM28	720942.871	8494450.538	3337.338
BM29	720949.961	8494454.915	3336.080
BM30	721166.517	8494259.258	3321.926
BM31	721454.170	8494415.245	3304.995
BM32	721524.367	8494370.428	3302.634
BM33	721525.097	8494369.675	3301.085
BM34	721537.271	8494364.775	3301.603
BM35	721546.371	8494368.968	3303.194

Nota. En este cuadro se presentan las coordenadas registradas este, norte y

altura del primer levantamiento topografico con el equipo drone.

Tabla 7.

Datos del segundo levantamiento con estacion total.

PUNTOS DE CONTROL	ESTACION TOTAL		
	ESTE	NORTE	COTA
BM1	719929.639	8496093.228	3439.044
BM2	719929.603	8496102.383	3438.855
BM3	720034.376	8495897.356	3442.606
BM4	720043.412	8495898.577	3442.349
BM5	720133.176	8495675.038	3438.806
BM6	720174.465	8495588.424	3437.733
BM7	720178.472	8495598.370	3437.798
BM8	720393.136	8495663.484	3430.980
BM9	720400.530	8495666.922	3429.810
BM10	720657.604	8495663.773	3423.483
BM11	720661.830	8495660.635	3422.753
BM12	720888.120	8495736.568	3411.129
BM13	720897.246	8495733.375	3410.695
BM14	721046.494	8495670.745	3400.622
BM15	721048.787	8495662.302	3400.720
BM16	721257.503	8495569.157	3385.873
BM17	721255.445	8495563.998	3385.352
BM18	721161.381	8495350.710	3376.156
BM19	721172.408	8495350.784	3375.803
BM20	720965.821	8495107.273	3363.802
BM21	720954.805	8495110.270	3363.505
BM22	720716.664	8494934.906	3352.390
BM23	720715.248	8494918.613	3351.306
BM24	720872.467	8494838.344	3352.743
BM25	720871.398	8494827.598	3355.539
BM26	720748.494	8494683.617	3352.963
BM27	720780.212	8494665.832	3350.803
BM28	720942.159	8494450.587	3338.491
BM29	720948.586	8494454.908	3338.222
BM30	721166.418	8494259.276	3323.922
BM31	721456.463	8494415.195	3306.791
BM32	721526.027	8494367.246	3304.236
BM33	721522.982	8494369.718	3305.215
BM34	721540.193	8494361.403	3303.435
BM35	721547.913	8494368.962	3302.809

Nota. En este cuadro se presentan las coordenadas registradas este, norte y

altura del segundo levantamiento con el equipo estacion total.

Tabla 8.

Datos del segundo levantamiento con drone-mavic.

PUNTOS DE CONTROL	DRONE		
	ESTE	NORTE	COTA
BM1	719928.137	8496091.602	3437.591
BM2	719926.518	8496100.602	3437.053
BM3	720034.757	8495896.284	3440.630
BM4	720041.095	8495897.021	3439.655
BM5	720133.417	8495676.212	3436.632
BM6	720173.096	8495587.936	3435.576
BM7	720177.623	8495595.955	3433.148
BM8	720394.277	8495661.056	3428.027
BM9	720396.028	8495666.672	3427.680
BM10	720658.067	8495667.960	3420.879
BM11	720663.910	8495660.614	3420.768
BM12	720888.307	8495736.935	3409.342
BM13	720896.049	8495736.241	3407.782
BM14	721045.356	8495669.845	3399.098
BM15	721044.095	8495660.346	3399.118
BM16	721255.098	8495570.598	3383.890
BM17	721249.007	8495565.877	3383.100
BM18	721161.279	8495351.515	3374.085
BM19	721168.426	8495351.537	3374.081
BM20	720964.491	8495106.699	3363.128
BM21	720955.304	8495109.948	3361.201
BM22	720715.092	8494934.976	3350.978
BM23	720716.174	8494918.237	3350.070
BM24	720870.930	8494837.700	3351.334
BM25	720870.575	8494827.100	3352.516
BM26	720747.336	8494682.072	3349.411
BM27	720779.315	8494663.946	3349.361
BM28	720942.774	8494453.512	3336.968
BM29	720949.439	8494452.166	3336.250
BM30	721166.381	8494258.944	3322.126
BM31	721454.010	8494415.051	3304.815
BM32	721524.199	8494370.627	3302.004
BM33	721524.203	8494369.365	3302.005
BM34	721536.509	8494364.717	3302.773
BM35	721546.192	8494368.362	3301.374

Nota. En este cuadro se presentan las coordenadas registradas este, norte y

altura del segundo levantamiento con el equipo drone.

Tabla 9.

Coordenadas registradas promedio y desviacion estandar para el drone.

PC	DRON					
	ESTE	σ	NORTE	σ	COTA	σ
BM1	719928.188	0.07149472	8496091.920	0.4501971	3437.486	0.14849242
BM2	719926.967	0.63589299	8496100.375	0.32055533	3437.178	0.1767767
BM3	720034.765	0.01086421	8495896.595	0.43878937	3440.655	0.03535534
BM4	720041.419	0.45829363	8495897.463	0.62565102	3440.05	0.55861436
BM5	720133.502	0.11925422	8495676.472	0.36755382	3436.102	0.74953319
BM6	720173.546	0.63656852	8495588.355	0.59312317	3435.686	0.15556349
BM7	720177.782	0.22465231	8495596.347	0.5542409	3434.103	1.35057395
BM8	720394.338	0.08566355	8495661.059	0.00487974	3428.047	0.02828427
BM9	720396.593	0.79872512	8495667.021	0.49425456	3427.545	0.19091883
BM10	720658.659	0.8379377	8495667.880	0.11403894	3420.829	0.07071068
BM11	720662.356	2.19845315	8495660.718	0.14799634	3420.893	0.1767767
BM12	720888.318	0.01537793	8495737.431	0.70053511	3409.247	0.13435029
BM13	720896.747	0.98588567	8495736.270	0.04066097	3408.202	0.5939697
BM14	721045.628	0.38367845	8495670.175	0.46780422	3398.378	1.01823376
BM15	721044.522	0.60479574	8495660.695	0.49437064	3398.903	0.30405592
BM16	721255.822	1.02342159	8495570.437	0.22814517	3384.025	0.19091883
BM17	721249.545	0.7614528	8495565.841	0.05132733	3383.12	0.02828427
BM18	721161.722	0.62666266	8495351.696	0.25627738	3374.065	0.02828427
BM19	721168.83	0.57076584	8495351.720	0.25764833	3374.011	0.09899495
BM20	720964.608	0.16522603	8495106.836	0.19322892	3362.363	1.08187338
BM21	720955.649	0.48778109	8495109.929	0.02707701	3361.301	0.14142136
BM22	720715.142	0.07114569	8494934.861	0.16174385	3350.853	0.1767767
BM23	720716.858	0.96835454	8494918.724	0.68988906	3350.285	0.30405592
BM24	720871.01	0.1125815	8494837.951	0.35545218	3351.304	0.04242641
BM25	720870.628	0.07472725	8494827.344	0.34502098	3351.771	1.0535891
BM26	720747.451	0.16130273	8494682.311	0.33729739	3349.346	0.09192388
BM27	720779.397	0.11627597	8494664.349	0.57027755	3349.231	0.18384776
BM28	720942.823	0.06862786	8494452.025	2.10327873	3337.153	0.26162951
BM29	720949.7	0.36913377	8494453.541	1.94318259	3336.165	0.12020815
BM30	721166.449	0.09595719	8494259.101	0.2216409	3322.026	0.14142136
BM31	721454.09	0.11294575	8494415.148	0.1372209	3304.905	0.12727922
BM32	721524.283	0.11903318	8494370.527	0.14076937	3302.319	0.44547727
BM33	721524.65	0.63267398	8494369.520	0.21927843	3301.545	0.65053824
BM34	721536.89	0.53892617	8494364.746	0.04107847	3302.188	0.82731493
BM35	721546.281	0.12660218	8494368.665	0.42805417	3302.284	1.28693434

Nota. En este cuadro se presentan las coordenadas promedio de ambos levantamientos topograficos , y asi como su desviacion estandar de cada punto.

Tabla 10.

Coordenadas registradas promedio y desviacion para la estacion total.

PC	ESTACION TOTAL					
	ESTE	σ	NORTE	Σ	Z	σ
BM1	719929.106	0.75365052	8496093.010	0.30790946	3439.198	0.21747069
BM2	719928.668	1.32219282	8496101.515	1.22646452	3438.835	0.02805008
BM3	720034.561	0.26132207	8495897.255	0.14376277	3442.634	0.03981718
BM4	720042.574	1.18544372	8495898.381	0.27718005	3442.603	0.36027091
BM5	720133.195	0.02661155	8495675.876	1.18440386	3438.540	0.37568583
BM6	720173.948	0.73168536	8495588.513	0.12529436	3437.708	0.03486036
BM7	720177.915	0.78736123	8495597.481	1.25803962	3437.151	0.91542044
BM8	720393.636	0.70710678	8495661.998	2.10203561	3431.131	0.21354625
BM9	720398.717	2.56326208	8495666.891	0.04362999	3429.736	0.10441139
BM10	720658.391	1.11292459	8495665.507	2.45130351	3423.022	0.6517085
BM11	720661.288	0.76706613	8495660.468	0.23690658	3422.848	0.13365732
BM12	720888.21	0.12747163	8495736.913	0.487118	3411.269	0.19890914
BM13	720897.306	0.08564337	8495734.467	1.54475635	3410.773	0.11092844
BM14	721045.862	0.89431992	8495670.655	0.12796431	3400.601	0.02945807
BM15	721046.537	3.18198052	8495661.678	0.882077	3400.458	0.37106843
BM16	721256.969	0.75531861	8495568.954	0.28740916	3385.867	0.00957882
BM17	721252.695	3.8890873	8495564.148	0.21213203	3385.390	0.05325221
BM18	721161.562	0.25602142	8495350.579	0.18574438	3375.887	0.38104924
BM19	721170.666	2.46308862	8495350.597	0.2638941	3375.547	0.36316297
BM20	720965.071	1.06066017	8495107.051	0.31459036	3363.688	0.16187088
BM21	720955.18	0.53033009	8495110.069	0.28494303	3363.066	0.62062055
BM22	720715.633	1.45840774	8494934.732	0.24657658	3353.541	1.62744161
BM23	720716.134	1.25350748	8494918.807	0.27361958	3352.310	1.41979971
BM24	720871.613	1.20746559	8494838.247	0.13785011	3353.099	0.50469393
BM25	720870.879	0.73371833	8494827.589	0.01285649	3354.855	0.96730086
BM26	720747.798	0.98489873	8494682.997	0.87650718	3351.953	1.42818599
BM27	720779.683	0.74858511	8494665.232	0.84852814	3350.599	0.28888423
BM28	720942.477	0.44997704	8494450.464	0.17356257	3338.647	0.22092137
BM29	720949.262	0.95590361	8494454.822	0.12150286	3338.143	0.11172287
BM30	721166.432	0.02057718	8494259.145	0.18484019	3323.901	0.02934493
BM31	721455.324	1.6102186	8494415.091	0.14721731	3306.922	0.18529026
BM32	721525.281	1.05365911	8494368.640	1.97167682	3303.905	0.46859966
BM33	721524.083	1.55754602	8494369.508	0.29672051	3305.359	0.20340209
BM34	721538.78	1.99798777	8494362.928	2.15667568	3303.640	0.28914233
BM35	721547.2	1.00828189	8494368.791	0.24183389	3303.078	0.38061437

Nota. En este cuadro se presentan las coordenadas promedio de ambos levantamientos topograficos , y asi como su desviacion estandar de cada punto.

Tabla 11.

Promedio de la desviación estandar de los datos del drone y estacion.

DRONE	
σ PROMEDIO (ESTE)	0.436
σ PROMEDIO (NORTE)	0.415
σ PROMEDIO (COTA)	0.371
ESTACION TOTAL	
σ PROMEDIO (ESTE)	1.100
σ PROMEDIO (NORTE)	0.618
σ PROMEDIO (COTA)	0.386

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12.

Promedio de coordenadas registradas con el equipo GPS-Diferencial.

PC	GPS DIFERENCIAL		
	ESTE	NORTE	COTA
BM1	719928.261	8496092.248	3437.431
BM2	719927.378	8496100.130	3437.103
BM3	720034.748	8495896.869	3440.95
BM4	720041.761	8495897.942	3440.735
BM5	720133.621	8495676.749	3436.862
BM6	720173.973	8495588.723	3435.886
BM7	720177.906	8495596.744	3435.338
BM8	720394.395	8495661.037	3428.117
BM9	720397.143	8495667.399	3427.75
BM10	720659.148	8495667.798	3420.949
BM11	720660.776	8495660.795	3421.088
BM12	720888.302	8495737.925	3409.442
BM13	720897.415	8495736.287	3408.942
BM14	721045.874	8495670.489	3398.868
BM15	721044.928	8495661.027	3398.808
BM16	721256.573	8495570.290	3383.95
BM17	721250.068	8495565.780	3383.44
BM18	721162.159	8495351.887	3374.205
BM19	721169.279	8495351.879	3374.191
BM20	720964.772	8495106.954	3361.808
BM21	720955.960	8495109.908	3361.551
BM22	720715.143	8494934.697	3351.038
BM23	720717.552	8494919.191	3350.19
BM24	720871.110	8494838.240	3351.544
BM25	720870.680	8494827.521	3352.206
BM26	720747.515	8494682.519	3349.531
BM27	720779.528	8494664.801	3349.271
BM28	720942.893	8494450.570	3337.038
BM29	720950.025	8494454.900	3336.41
BM30	721166.515	8494259.227	3322.226
BM31	721454.103	8494415.309	3305.105
BM32	721524.338	8494370.393	3302.304
BM33	721525.052	8494369.642	3302.315
BM34	721537.252	8494364.734	3301.523
BM35	721546.336	8494368.995	3301.694

Nota. En este cuadro se presentan las coordenadas registradas de levantamiento con el GPS-Diferencial , para realizar la variabilidad de la presicion con las otras.

Tabla 13.

Promedio de coordenadas registradas con el equipo estacion total.

PC	ESTACION TOTAL		
	ESTE	NORTE	Z
BM1	719929.106	8496093.010	3439.198
BM2	719928.668	8496101.515	3438.835
BM3	720034.561	8495897.255	3442.634
BM4	720042.574	8495898.381	3442.603
BM5	720133.195	8495675.876	3438.540
BM6	720173.948	8495588.513	3437.708
BM7	720177.915	8495597.481	3437.151
BM8	720393.636	8495661.998	3431.131
BM9	720398.717	8495666.891	3429.736
BM10	720658.391	8495665.507	3423.022
BM11	720661.288	8495660.468	3422.848
BM12	720888.210	8495736.913	3411.269
BM13	720897.306	8495734.467	3410.773
BM14	721045.862	8495670.655	3400.601
BM15	721046.537	8495661.678	3400.458
BM16	721256.969	8495568.954	3385.867
BM17	721252.695	8495564.148	3385.390
BM18	721161.562	8495350.579	3375.887
BM19	721170.666	8495350.597	3375.547
BM20	720965.071	8495107.051	3363.688
BM21	720955.180	8495110.069	3363.066
BM22	720715.633	8494934.732	3353.541
BM23	720716.134	8494918.807	3352.310
BM24	720871.613	8494838.247	3353.099
BM25	720870.879	8494827.589	3354.855
BM26	720747.798	8494682.997	3351.953
BM27	720779.683	8494665.232	3350.599
BM28	720942.477	8494450.464	3338.647
BM29	720949.262	8494454.822	3338.143
BM30	721166.432	8494259.145	3323.901
BM31	721455.324	8494415.091	3306.922
BM32	721525.281	8494368.640	3303.905
BM33	721524.083	8494369.508	3305.359
BM34	721538.780	8494362.928	3303.640
BM35	721547.200	8494368.791	3303.078

Nota. En este cuadro se presentan las coordenadas registradas de levantamiento con la estacion total, para realizar la variabilidad de la presicion con las otras formas

Tabla 14.*Promedio de coordenadas registradas con el equipo drone.*

PC	DRONE		
	ESTE	NORTE	Z
BM1	719928.188	8496091.920	3437.486
BM2	719926.967	8496100.375	3437.178
BM3	720034.765	8495896.595	3440.655
BM4	720041.419	8495897.463	3440.050
BM5	720133.502	8495676.472	3436.102
BM6	720173.546	8495588.355	3435.686
BM7	720177.782	8495596.347	3434.103
BM8	720394.338	8495661.059	3428.047
BM9	720396.593	8495667.021	3427.545
BM10	720658.659	8495667.880	3420.829
BM11	720662.356	8495660.718	3420.893
BM12	720888.318	8495737.431	3409.247
BM13	720896.747	8495736.270	3408.202
BM14	721045.628	8495670.175	3398.378
BM15	721044.522	8495660.695	3398.903
BM16	721255.822	8495570.437	3384.025
BM17	721249.545	8495565.841	3383.120
BM18	721161.722	8495351.696	3374.065
BM19	721168.830	8495351.720	3374.011
BM20	720964.608	8495106.836	3362.363
BM21	720955.649	8495109.929	3361.301
BM22	720715.142	8494934.861	3350.853
BM23	720716.858	8494918.724	3350.285
BM24	720871.010	8494837.951	3351.304
BM25	720870.628	8494827.344	3351.771
BM26	720747.451	8494682.311	3349.346
BM27	720779.397	8494664.349	3349.231
BM28	720942.823	8494452.025	3337.153
BM29	720949.700	8494453.541	3336.165
BM30	721166.449	8494259.101	3322.026
BM31	721454.090	8494415.148	3304.905
BM32	721524.283	8494370.527	3302.319
BM33	721524.650	8494369.520	3301.545
BM34	721536.890	8494364.746	3302.188
BM35	721546.281	8494368.665	3302.284

Nota. En este cuadro se presentan las coordenadas registradas de levantamiento topografico con el equipo drone, para realizar la variabilidad de la presicion con las otras metodologidas de medicion topografica.

- **ERROR GENERAL**

$$e = |\text{Valor Real} - \text{Valor Aproximado}|$$

Valor Real: Datos registrados con el GPS Diferencial.

Valor Aproximado: Datos registrados con el drone y estación total.

Determinar el análisis comparativo de la precisión de un levantamiento topográfico mediante drone y los métodos convencionales para la carretera Karcatera-Abancay-2023.

Objetivos específicos

O.E-1: Determinar la metodología de medición que de un resultado con un error general menor entre un equipo aéreo no tripulado y los métodos de medición convencionales (estación total, GPS).

Tabla 15.*Resumen de errores absolutos con drone*

PUNTOS DE CONTROL	ESTE	NORTE	COTA
BM1	0.073	0.328	0.055
BM2	0.411	0.245	0.075
BM3	0.017	0.274	0.295
BM4	0.342	0.479	0.685
BM5	0.119	0.277	0.760
BM6	0.427	0.368	0.200
BM7	0.124	0.397	1.235
BM8	0.057	0.022	0.070
BM9	0.550	0.378	0.205
BM10	0.489	0.082	0.120
BM11	1.580	0.077	0.195
BM12	0.016	0.494	0.195
BM13	0.668	0.017	0.740
BM14	0.246	0.314	0.490
BM15	0.406	0.332	0.095
BM16	0.751	0.147	0.075
BM17	0.523	0.061	0.320
BM18	0.437	0.191	0.140
BM19	0.449	0.159	0.180
BM20	0.164	0.118	0.555
BM21	0.311	0.021	0.250
BM22	0.001	0.164	0.185
BM23	0.694	0.467	0.095
BM24	0.100	0.289	0.240
BM25	0.052	0.177	0.435
BM26	0.064	0.208	0.185
BM27	0.131	0.452	0.040
BM28	0.070	1.455	0.115
BM29	0.325	1.359	0.245
BM30	0.066	0.126	0.200
BM31	0.013	0.161	0.200
BM32	0.055	0.134	0.015
BM33	0.402	0.122	0.770
BM34	0.362	0.012	0.665
BM35	0.055	0.330	0.590

Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

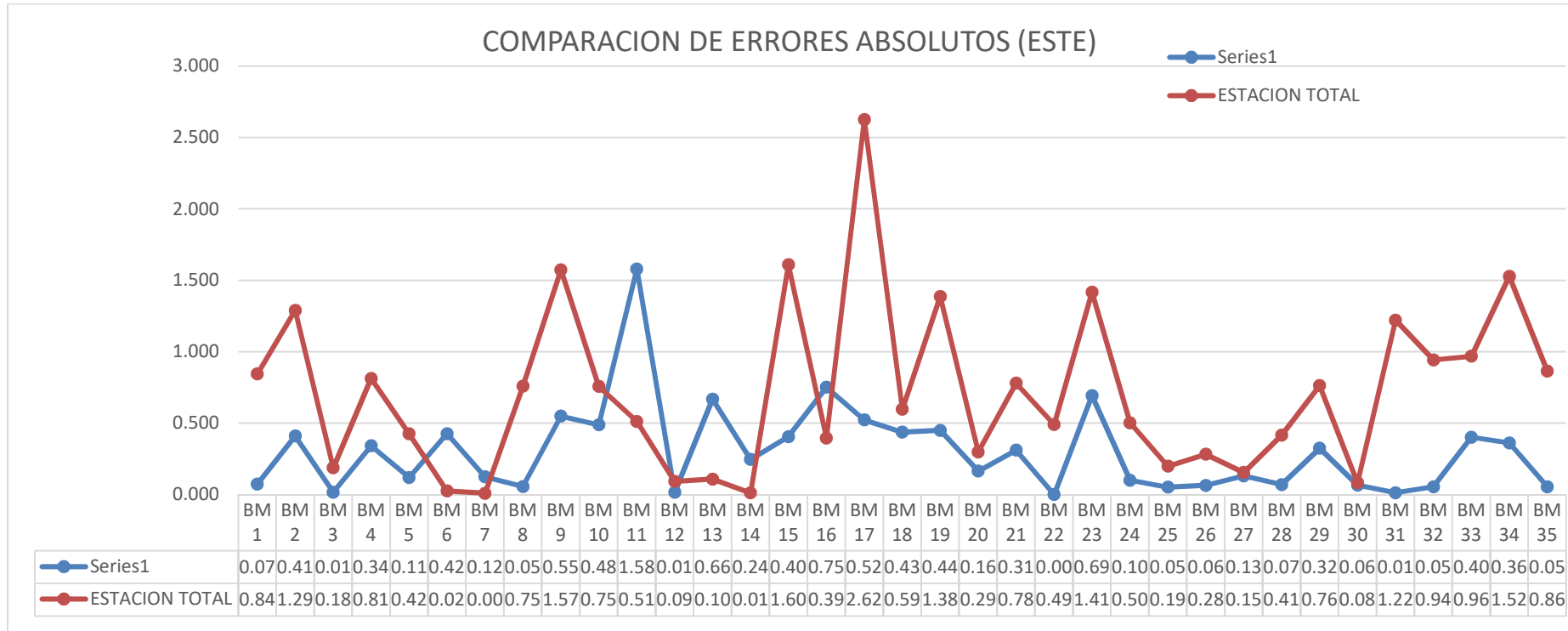
Tabla 16.*Resumen de errores absolutos con estacion total*

PUNTOS DE CONTROL	ESTE	NORTE	COTA
BM1	0.845	0.762	1.767
BM2	1.290	1.385	1.732
BM3	0.187	0.386	1.684
BM4	0.813	0.439	1.868
BM5	0.426	0.873	1.678
BM6	0.025	0.210	1.822
BM7	0.009	0.737	1.813
BM8	0.759	0.961	3.014
BM9	1.574	0.508	1.986
BM10	0.757	2.291	2.073
BM11	0.512	0.327	1.760
BM12	0.092	1.012	1.827
BM13	0.109	1.820	1.831
BM14	0.012	0.166	1.733
BM15	1.609	0.651	1.650
BM16	0.396	1.336	1.917
BM17	2.627	1.632	1.950
BM18	0.597	1.308	1.682
BM19	1.387	1.282	1.356
BM20	0.299	0.097	1.880
BM21	0.780	0.161	1.515
BM22	0.490	0.035	2.503
BM23	1.418	0.384	2.120
BM24	0.503	0.007	1.555
BM25	0.199	0.068	2.649
BM26	0.283	0.478	2.422
BM27	0.155	0.431	1.328
BM28	0.416	0.106	1.609
BM29	0.763	0.078	1.733
BM30	0.083	0.082	1.675
BM31	1.221	0.218	1.817
BM32	0.943	1.753	1.601
BM33	0.969	0.134	3.044
BM34	1.528	1.806	2.117
BM35	0.864	0.204	1.384

Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

Figura 47.

Errores absolutos de la coordenada este

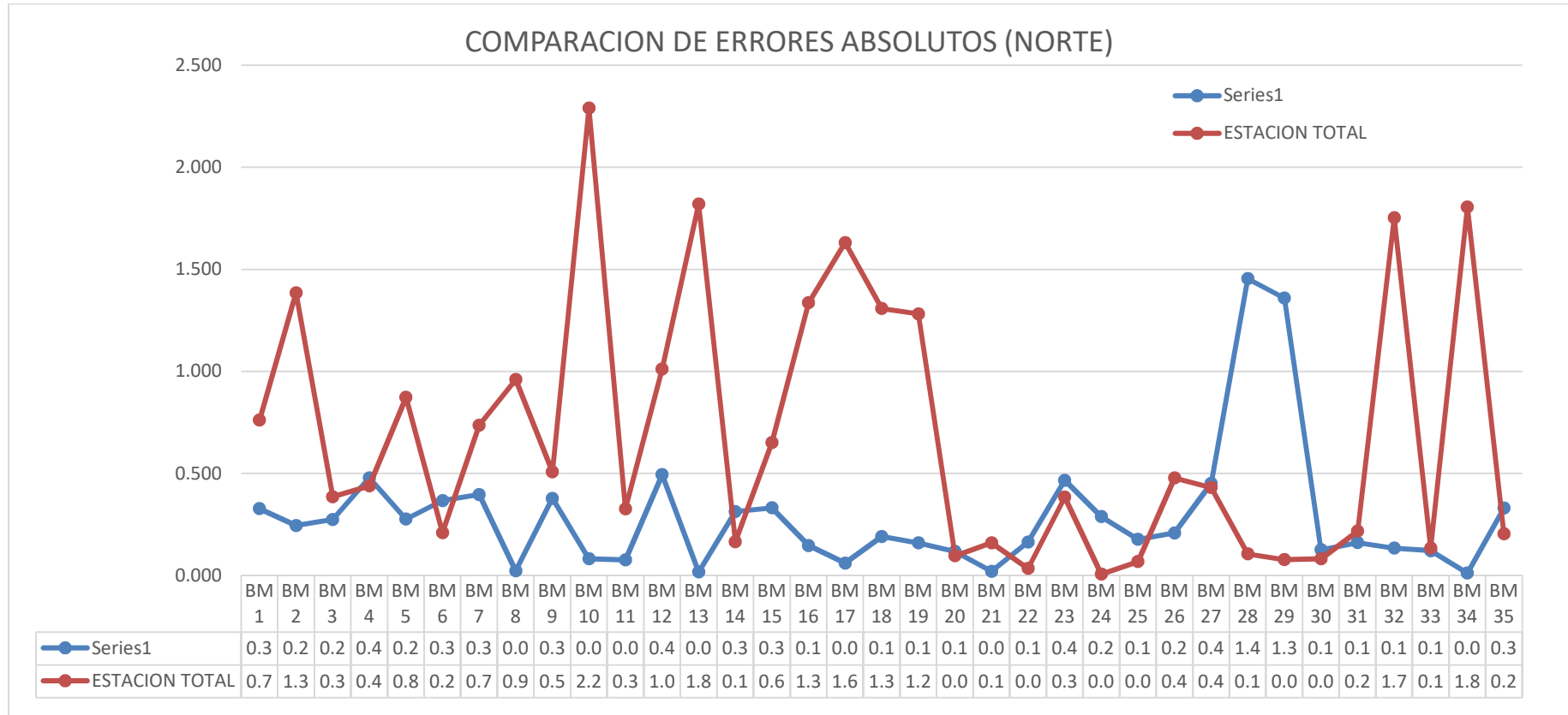


Nota. Datos Elaborados Propiamente (2023).

Se logra apreciar en la figura que existen mayores errores absolutos en gran cantidad de puntos en el levantamiento topografico de la coordenada este entre el levantamiento topografico con dron y estación total. El error absoluto mayor se denota en el punto BM17, mientras con la estación se obtuvo 2.627, con el dron resultó 0.523.

Figura 48.

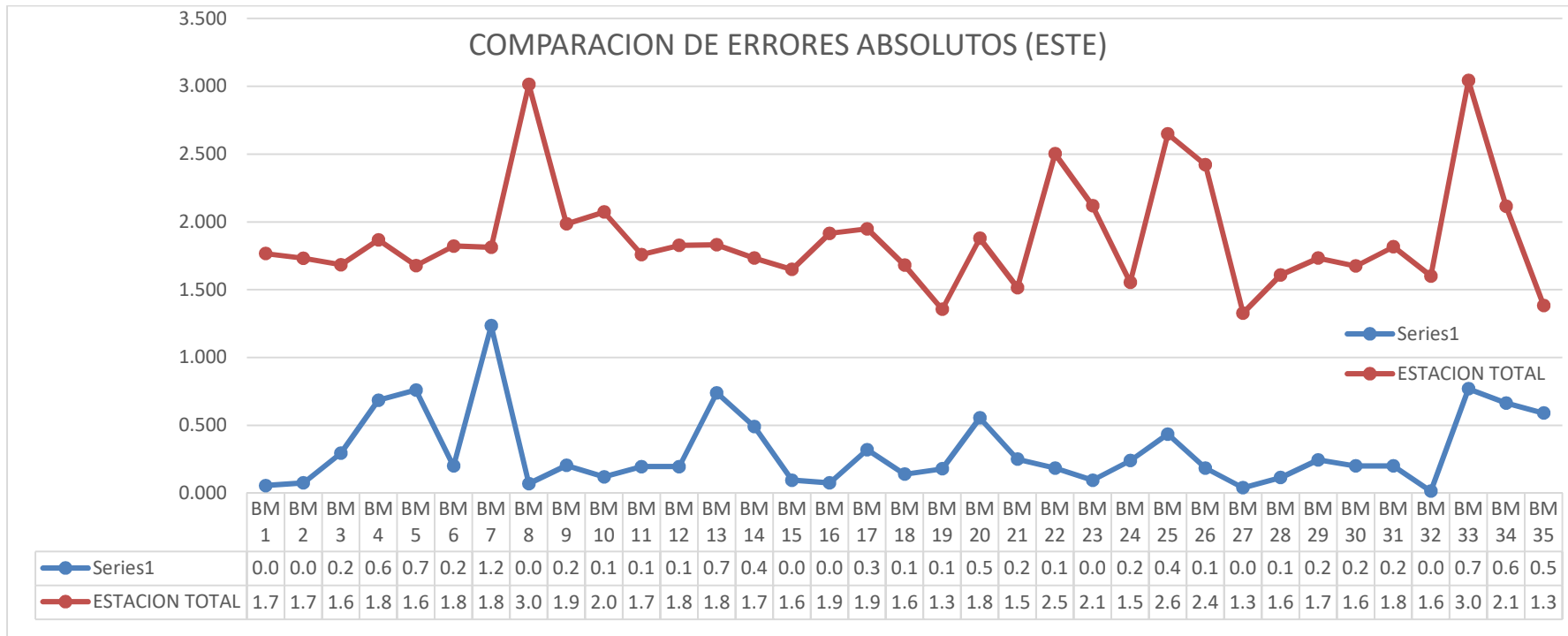
Errores absoluto de la coordenada norte



Nota. Se logra apreciar en la figura que existen mayores errores absolutos en gran cantidad de puntos en el levantamiento topografico de la coordenada norte entre el levantamiento topografico con dron y estación total. El error absoluto mayor se denota en el punto BM10, mientras con la estación se obtuvo 2.291, con el dron resultó 0.082.

Figura 49

Errores absoluto de la cota



Nota. Se logra apreciar en la figura que existen mayores errores absolutos en gran cantidad de puntos en el levantamiento topografico de la cota entre el levantamiento topografico con dron y estación total. El error absoluto mayor se denota en el punto BM08, mientras con la estación se obtuvo 3.014, con el dron resultó 0.070.

Tabla 17.

Errores relativos con dron

PUNTOS DE CONTROL	ESTE	NORTE	COTA
BM1	1.015E-07	3.860E-08	1.600E-05
BM2	5.706E-07	2.883E-08	2.182E-05
BM3	2.383E-08	3.230E-08	8.573E-05
BM4	4.743E-07	5.633E-08	1.991E-04
BM5	1.659E-07	3.260E-08	2.211E-04
BM6	5.923E-07	4.327E-08	5.821E-05
BM7	1.724E-07	4.673E-08	3.595E-04
BM8	7.922E-08	2.645E-09	2.042E-05
BM9	7.634E-07	4.447E-08	5.981E-05
BM10	6.783E-07	9.623E-09	3.508E-05
BM11	2.192E-06	9.022E-09	5.700E-05
BM12	2.231E-08	5.820E-08	5.719E-05
BM13	9.273E-07	2.015E-09	2.171E-04
BM14	3.416E-07	3.690E-08	1.442E-04
BM15	5.628E-07	3.903E-08	2.795E-05
BM16	1.042E-06	1.732E-08	2.216E-05
BM17	7.248E-07	7.183E-09	9.458E-05
BM18	6.060E-07	2.249E-08	4.149E-05
BM19	6.232E-07	1.877E-08	5.335E-05
BM20	2.280E-07	1.388E-08	1.651E-04
BM21	4.319E-07	2.459E-09	7.437E-05
BM22	1.051E-09	1.936E-08	5.521E-05
BM23	9.626E-07	5.492E-08	2.836E-05
BM24	1.391E-07	3.400E-08	7.161E-05
BM25	7.199E-08	2.085E-08	1.298E-04
BM26	8.946E-08	2.454E-08	5.523E-05
BM27	1.820E-07	5.321E-08	1.194E-05
BM28	9.749E-08	1.713E-07	3.446E-05
BM29	4.502E-07	1.600E-07	7.343E-05
BM30	9.195E-08	1.485E-08	6.020E-05
BM31	1.794E-08	1.900E-08	6.051E-05
BM32	7.646E-08	1.583E-08	4.542E-06
BM33	5.573E-07	1.432E-08	2.332E-04
BM34	5.015E-07	1.439E-09	2.014E-04
BM35	7.604E-08	3.886E-08	1.787E-04

Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

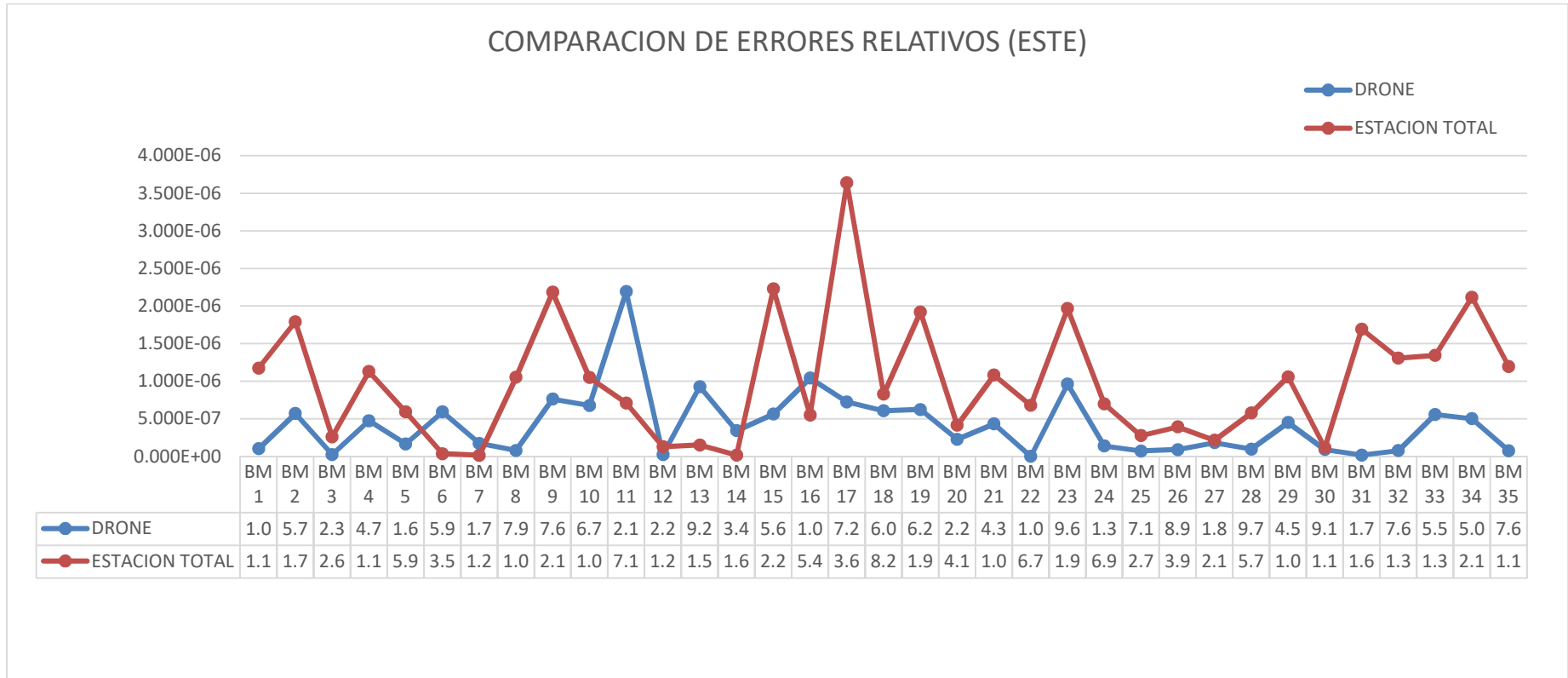
Tabla 18.*Errores relativos con estación total*

PUNTOS DE CONTROL	ESTE	NORTE	COTA
BM1	1.174E-06	8.967E-08	5.141E-04
BM2	1.792E-06	1.631E-07	5.040E-04
BM3	2.602E-07	4.541E-08	4.894E-04
BM4	1.129E-06	5.169E-08	5.430E-04
BM5	5.917E-07	1.028E-07	4.882E-04
BM6	3.524E-08	2.477E-08	5.303E-04
BM7	1.276E-08	8.672E-08	5.277E-04
BM8	1.054E-06	1.131E-07	8.792E-04
BM9	2.186E-06	5.980E-08	5.794E-04
BM10	1.050E-06	2.697E-07	6.060E-04
BM11	7.104E-07	3.853E-08	5.144E-04
BM12	1.271E-07	1.191E-07	5.359E-04
BM13	1.507E-07	2.142E-07	5.372E-04
BM14	1.692E-08	1.952E-08	5.099E-04
BM15	2.232E-06	7.664E-08	4.855E-04
BM16	5.494E-07	1.573E-07	5.664E-04
BM17	3.642E-06	1.921E-07	5.763E-04
BM18	8.278E-07	1.540E-07	4.984E-04
BM19	1.923E-06	1.509E-07	4.017E-04
BM20	4.144E-07	1.137E-08	5.592E-04
BM21	1.083E-06	1.891E-08	4.508E-04
BM22	6.799E-07	4.062E-09	7.470E-04
BM23	1.967E-06	4.524E-08	6.327E-04
BM24	6.981E-07	7.799E-10	4.641E-04
BM25	2.763E-07	8.033E-09	7.903E-04
BM26	3.927E-07	5.626E-08	7.232E-04
BM27	2.153E-07	5.076E-08	3.964E-04
BM28	5.774E-07	1.249E-08	4.822E-04
BM29	1.059E-06	9.175E-09	5.195E-04
BM30	1.146E-07	9.671E-09	5.042E-04
BM31	1.693E-06	2.563E-08	5.497E-04
BM32	1.308E-06	2.064E-07	4.847E-04
BM33	1.343E-06	1.578E-08	9.217E-04
BM34	2.118E-06	2.126E-07	6.412E-04
BM35	1.197E-06	2.400E-08	4.191E-04

Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

Figura 50.

Errores relativos con ambos equipos.

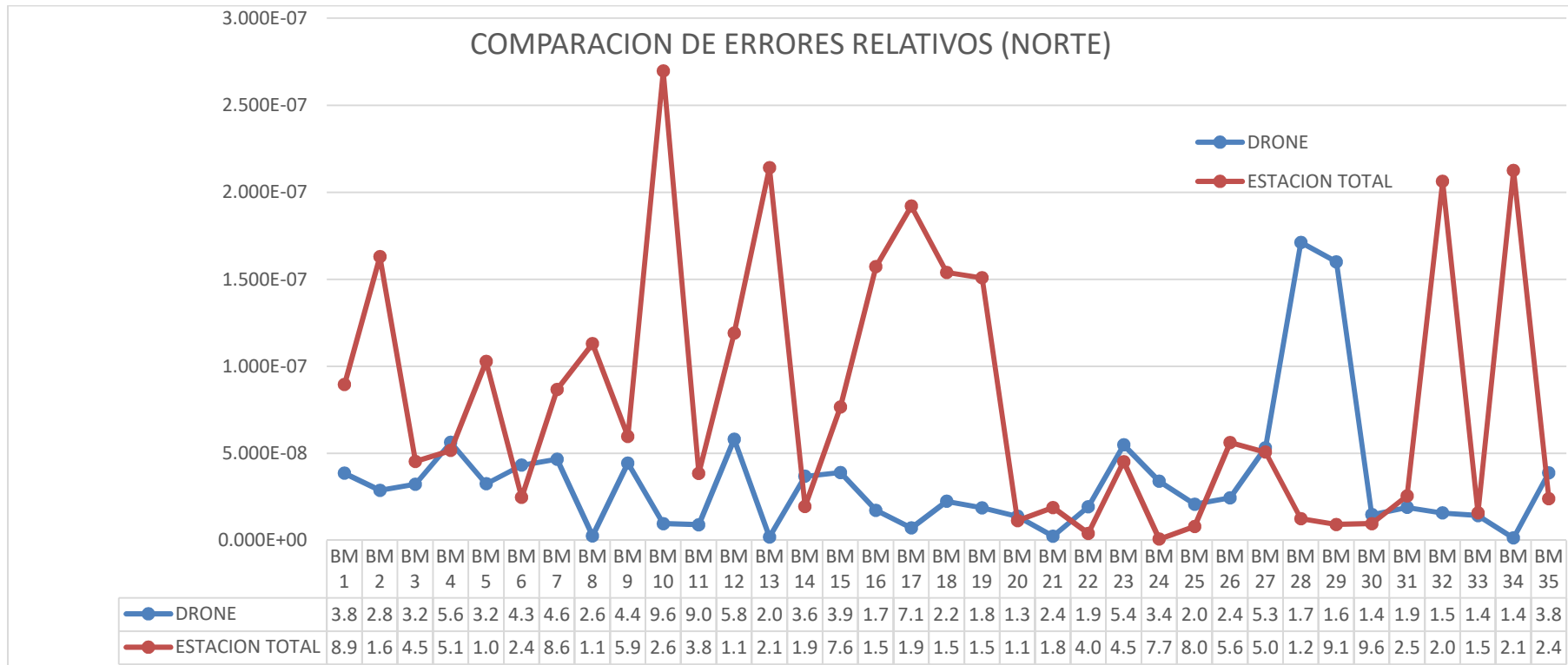


Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

Se logra apreciar en la figura que existen mayores errores absolutos en gran cantidad de puntos en el levantamiento topografico de la coordenada este entre el levantamiento topografico con dron y estación total. El error absoluto mayor se denota en el punto BM17, mientras con la estación se obtuvo 7.248E, con el dron resultó 3.642E.

Figura 51.

Errores relativos con ambos equipos.

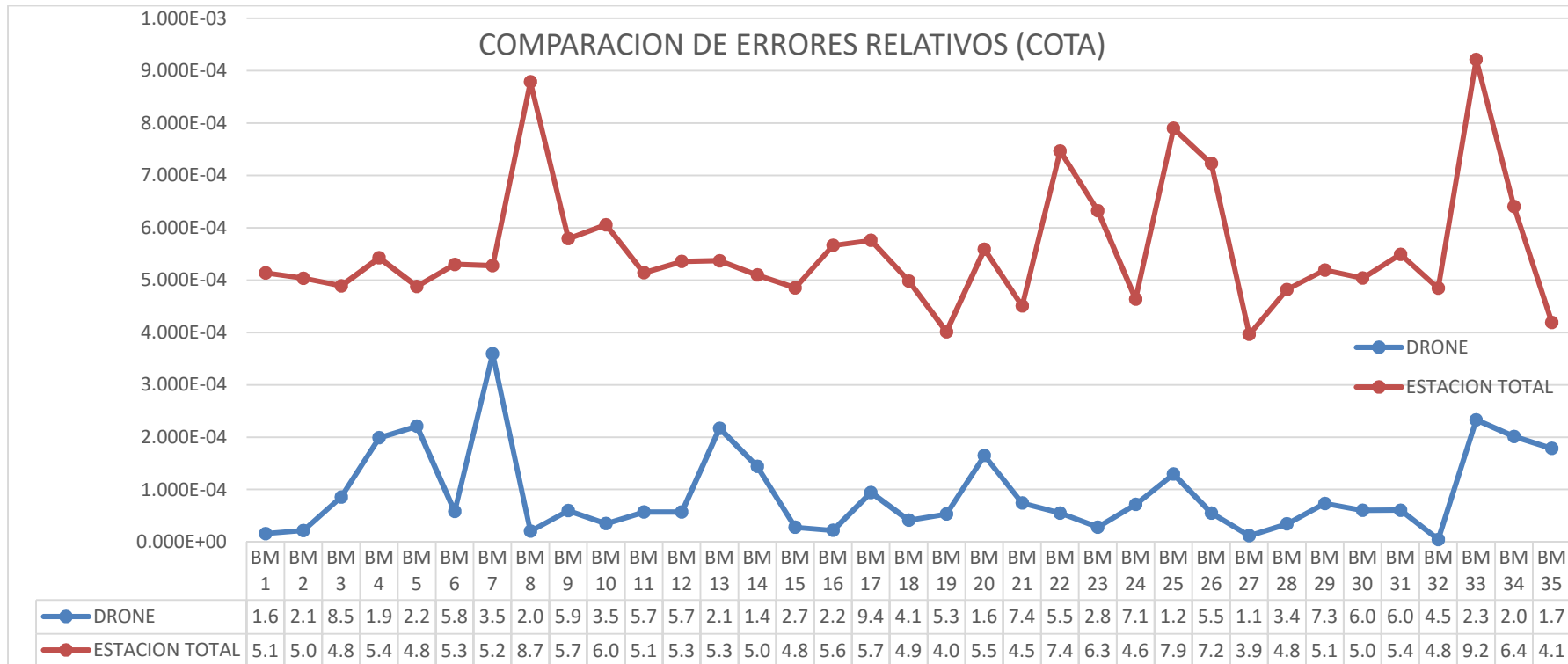


Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

Se logra apreciar en la figura que existen mayores errores absolutos en gran cantidad de puntos en el levantamiento topografico de la coordenada Norte entre el levantamiento topografico con dron y estación total. El error absoluto mayor se denota en el punto BM10, mientras con la estación se obtuvo 9.623E, con el dron resultó 2.697E.

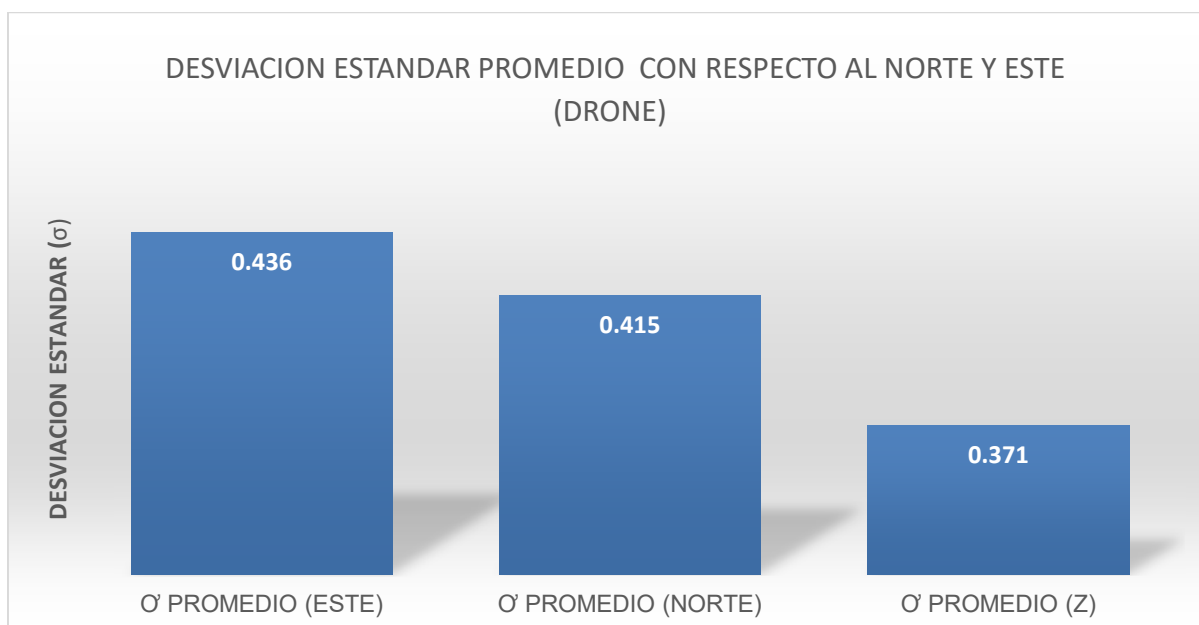
Figura 52.

Errores relativos con ambos equipos.



Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

Se logra apreciar en la figura que existen mayores errores absolutos en gran cantidad de puntos en el levantamiento topografico de la coordenada Cota entre el levantamiento topografico con dron y estación total. El error absoluto mayor se denota en el punto BM08, mientras con la estación se obtuvo 8.792E, con el dron resultó 2.042E.

Figura 53.*Desviación estandar con el equipo drone**Nota.* Datos elaborados propiamente (2023).**Tabla 19.***Desviación estandar promedio con respecto al norte y este (drone)*

DRONE					
ESTE		NORTE		COTA	
<i>DESV. ESTANDAR</i>	0.312409973	<i>DESV. ESTANDAR</i>	0.312152711	<i>DESV. ESTANDAR</i>	0.278179707
<i>MEDIA</i>	0.436318162	<i>MEDIA</i>	0.414929712	<i>MEDIA</i>	0.370725984
<i>ALFA</i>	0.05	<i>ALFA</i>	0.05	<i>ALFA</i>	0.05
<i>N (MUESTRA)</i>	35	<i>N (MUESTRA)</i>	35	<i>N (MUESTRA)</i>	35
<i>INT CONFIANZA (95%)</i>	0.103499668	<i>INT CONFIANZA (95%)</i>	0.103414439	<i>INT CONFIANZA (95%)</i>	0.092159374
<i>DESDE</i>	0.332818494	<i>DESDE</i>	0.311515273	<i>DESDE</i>	0.27856661
<i>HASTA</i>	0.539817831	<i>HASTA</i>	0.518344151	<i>HASTA</i>	0.462885358
57%	20	62%	22	42%	15

Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

Figura 54.

Desviación Estandar con la estación total.



Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

Tabla 20.

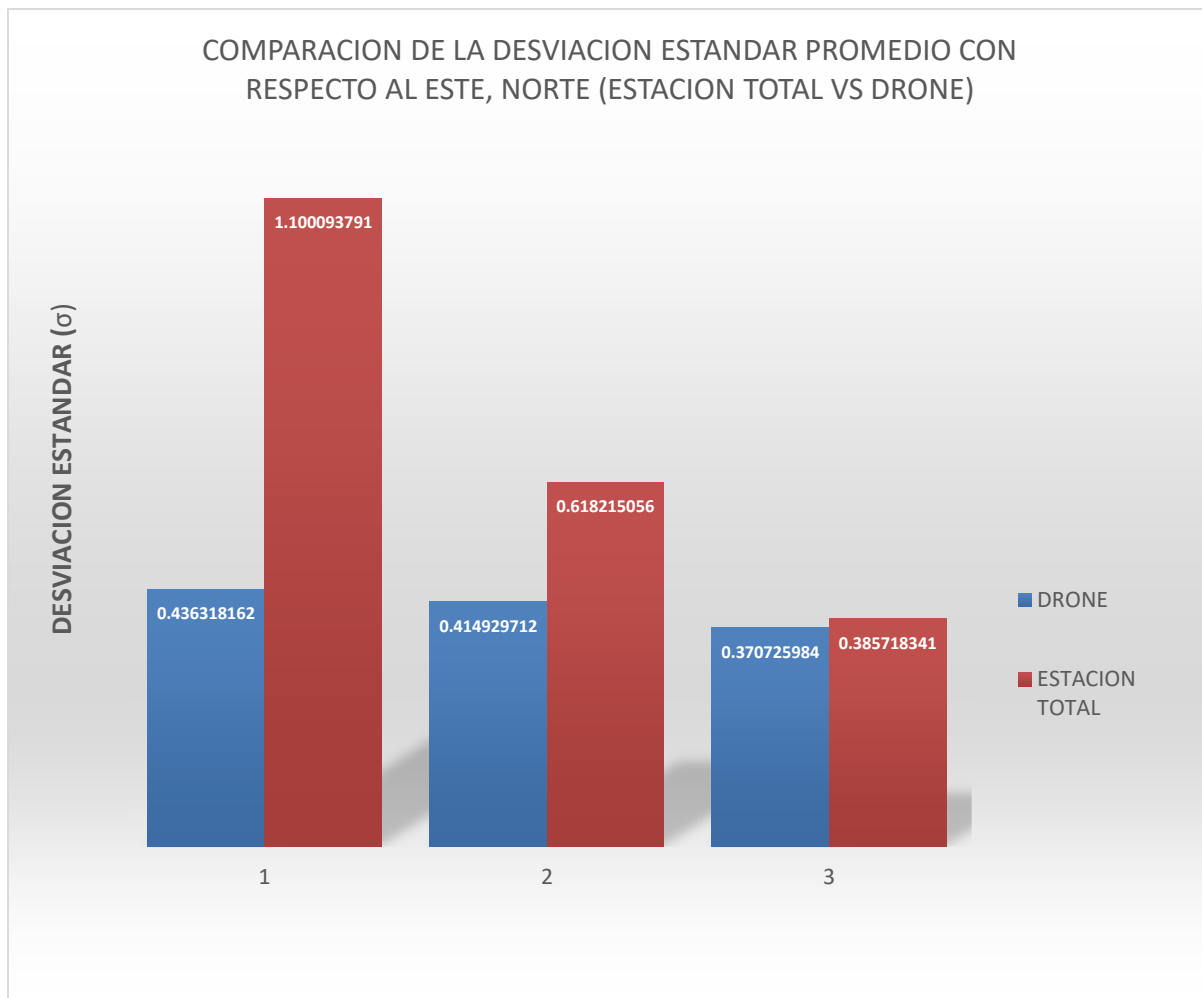
Desviación estandar promedio con respecto al norte y este (estación total)

ESTACION TOTAL					
ESTE		NORTE		COTA	
<i>DESV. ESTANDAR</i>	0.589850827	<i>DESV. ESTANDAR</i>	0.636056626	<i>DESV. ESTANDAR</i>	0.406527788
<i>MEDIA</i>	1.100093791	<i>MEDIA</i>	0.618215056	<i>MEDIA</i>	0.385718341
<i>ALFA</i>	0.05	<i>ALFA</i>	0.05	<i>ALFA</i>	0.05
<i>N (MUESTRA)</i>	35	<i>N (MUESTRA)</i>	35	<i>N (MUESTRA)</i>	35
<i>INT CONFIANZA (95%)</i>	0.195414264	<i>INT CONFIANZA (95%)</i>	0.210721986	<i>INT CONFIANZA (95%)</i>	0.134680372
<i>DESDE</i>	0.904679527	<i>DESDE</i>	0.40749307	<i>DESDE</i>	0.251037969
<i>HASTA</i>	1.295508055	<i>HASTA</i>	0.828937041	<i>HASTA</i>	0.520398712
37%	13	31%	11	45%	16

Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

Figura 55.

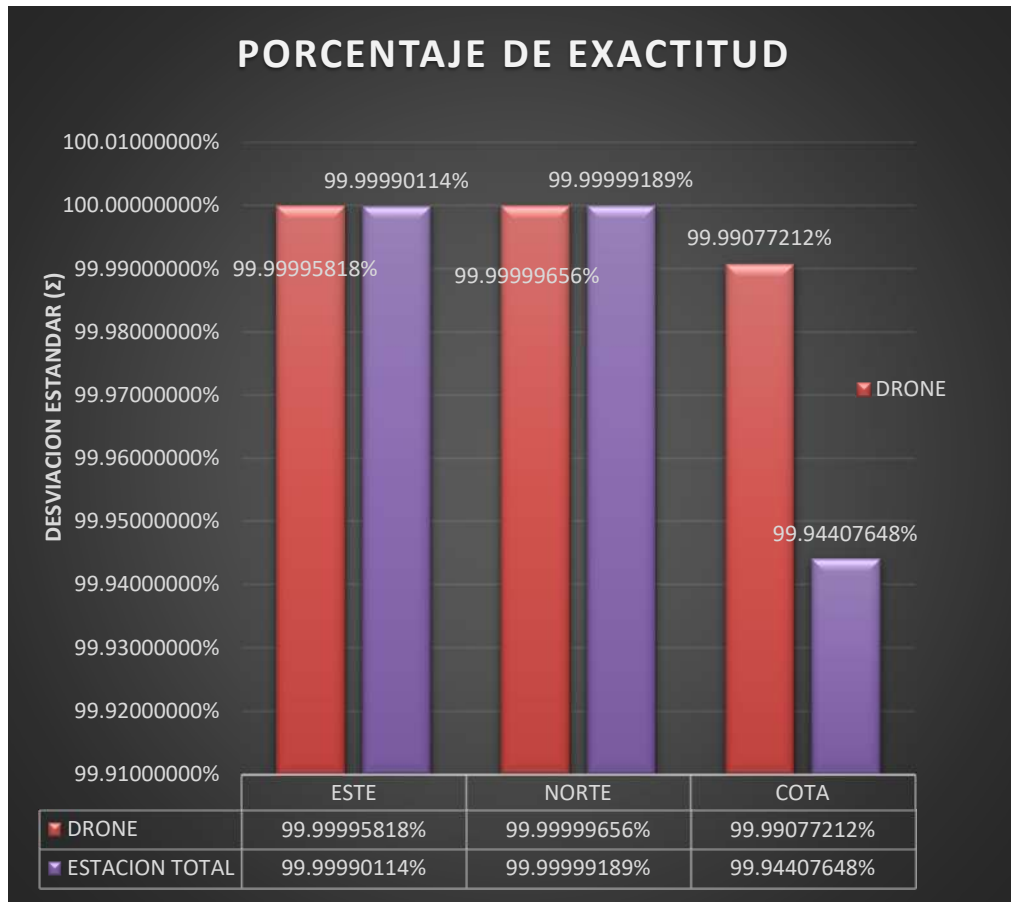
Comparacion de la desviacion estandar promedio con respecto al este, norte (estacion total vs drone)



Nota. En la figura se muestra que existe una desviación estándar mayor en el levantamiento topográfico con estación total, mientras que la coordenada este con dron se obtuvo un valor de 0.436318162 y con estación total 1.100093791, en la coordenada norte con dron resultó 0.414929712 y con estación total 0.618215056; y en la cota resultó 0.370725984 y con estación total 0.385718341.

Figura 56.

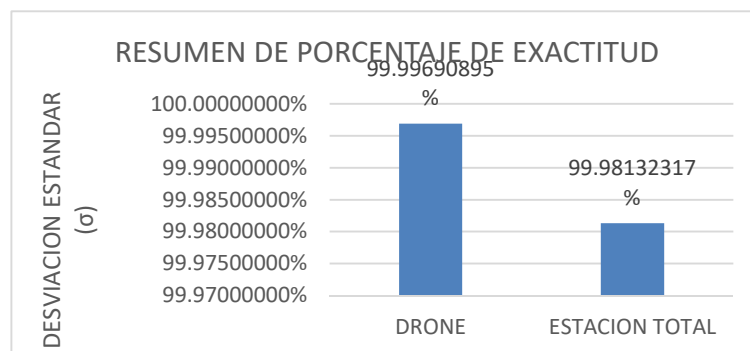
Porcentaje de exactitud



Nota. Datos elaborados propiamente (2023).

Figura 57.

Porcentaje de Exactitud



Nota. En la figura se muestra que existe mejor exactitud del levantamiento topográfico realizado con el dron que con la estación total.

O.E-2 y 3: Determinar la diferencia de tiempo y costo al realizar un levantamiento topográfico en trochas carrozables entre un equipo aéreo no tripulado y los métodos de medición convencionales (Estación Total, GPS).

Tabla 21.

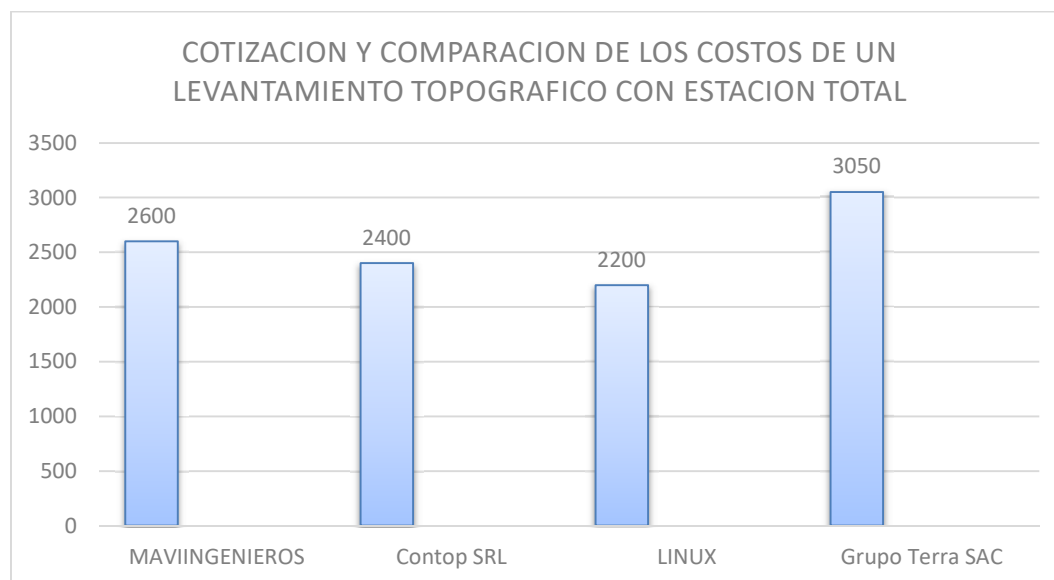
Costo con estación total por consultoras

Empresa	Costo	Tiempo
MAVIINGENIEROS	2600	7
Contop SRL	2400	9
LINUX	2200	10
Grupo Terra SAC	3050	5
COSTO Y TIEMPO PROMEDIO	2562.5	7.75

Nota. Datos Elaborados Propiamente (2023).

Figura 58.

Tiempo y cotización



Nota. Según la imagen, el costo de la estación total mayor viene ser por el Grupo Terra SAC., con un costo de 3050 y el costo menor suele ser LINUX.

Gastos Generales

Tabla 22.

Gastos generales para la estacion total.

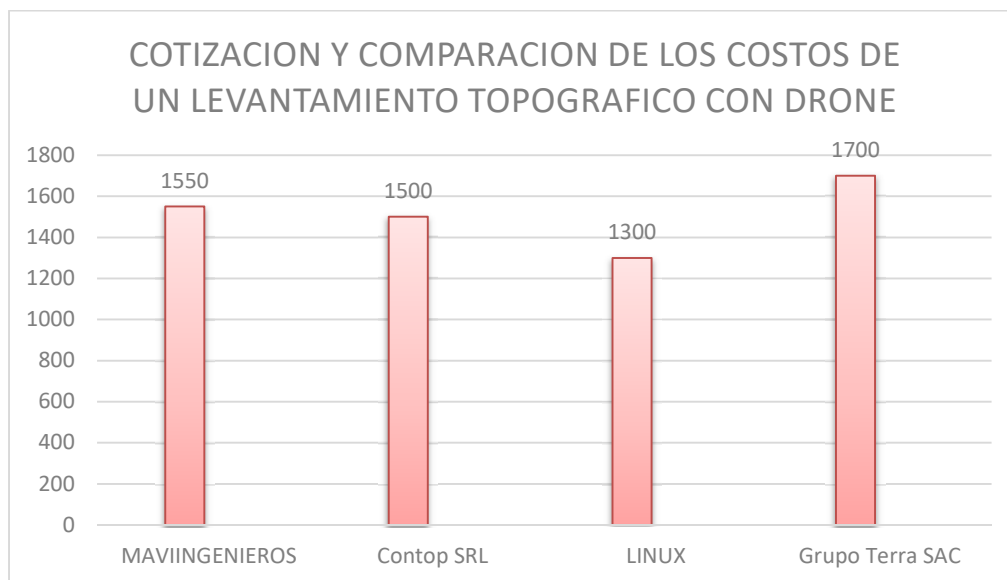
(A) GASTOS GENERALES FIJOS PARA ELABORACION DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO CON ESTACION TOTAL							
COSTO DE ASISTENCIA TECNICA							
TEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	% INCIDENCIA	TIEMPO (Día)	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
.1	Operario Topografo	dias	1.00	100%	3.00	130.00	390.00
.2	Cadista	dias	1.00	100%	3.00	100.00	300.00
.3	Conductor	dias	1.00	100%	3.00	80.00	240.00
.4	Prismeros	dias	2.00	100%	3.00	85.00	510.00
Subtotal							1,440.00
EQUIPOS NO INCLUIDOS EN LOS COSTOS							
	EQUIPOS NO INCLUIDOS EN LOS COSTOS	UNID	CANT	% INCIDENCIA	TIEMPO	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
.10	Estacion Total /Incluye Componentes	Dias	1.00	100.00	3.00	150.00	450.00
.20	Laptop Core I7	Dias	1.00	100.00	3.00	50.00	150.00
.30	Camioneta 4x4-Pick Up	Dias	1.00	100.00	3.00	150.00	450.00
Subtotal							1,050.00
MOBILIARIO Y MATERIALES DE ESCRITORIO							
TEM	DESCRIPCION	UND	CANT	%DEPRECIACION	TIEMPO (VIDA UTIL)	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
.10	Materiales de Oficina	Und	1.00		5.00	10.00	50.00
.20	Escritorios con sillas	Und	2.00	5%	5.00	-	0.00
.30	Mesa de reuniones con sillas	und	2.00	5%	5.00	-	0.00
.40	Pizarra acrilica	und	1.00	5%	5.00	-	0.00

.50	Estante	und	2.00	5%	5.00	-	0.00
Subtotal							50.00
COMBUSTIBLE CARBURANTES				Y			
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	% INCIDENCIA	TIEMPO	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
.10	Petroleo	gln	2.00	100%	3.00	18.95	113.70
Subtotal							113.70
EQUIPOS DE SEGURIDAD							
TEM	DESCRIPCION	UND	CANT	%INCIDENCIA	TIEMPO	VALORSU NITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
.10	Guantes de cuero	und	8.00			7.62	60.96
.20	Lentes protectores	und	5.00			5.08	25.40
.30	Cascos	und	5.00			21.19	105.95
.40	Botas de Cuero punta de acero	de par	5.00			50.00	250.00
.50	Chaleco reflectivos de seguridad	und	5.00			15.00	75.00
Subtotal							517.31
TOTAL GASTOS GENERALES							S/. 3,171.01

Nota. Datos Elaborados Propiamente (2023). El costo de gastos generales en el levantamiento con estación total asciende a S/. 3171.01

Tabla 23.*Tiempo y costo con drone*

Empresa	Costo	Tiempo
MAVIINGENIEROS	1550	1
Contop SRL	1500	1
LINUX	1300	1
Grupo Terra SAC	1700	1
COSTO Y TIEMPO PROMEDIO	1512.5	1

Nota. Datos elaborados propiamente (2023).**Figura 59.***Tiempo y costo con drone**Nota.* Datos Elaborados Propiamente (2023).

El costo del levantamiento con dron e es menor con LINUX y mayor con el Grupo Terra SAC. Es decir, el levantamiento topográfico con dron e es menor que el levantamiento con estación total.

Tabla 24.

Gastos generales del levantamiento topografico con dron e

(A) GASTOS GENERALES FIJOS PARA ELABORACION DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO CON DRONE							
1 COSTO DE ASISTENCIA TECNICA							
ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	% INCIDENCIA	TIEMPO (Dia)	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
1.1	Operario Topografo	dias	1.00	100 %	1.00	130.00	130.00
1.2	Cadista	dias	1.00	100 %	5.00	100.00	500.00
1.3	Conductor	dias	1.00	100 %	1.00	80.00	80.00
1.4	Primeros	dias	-	100 %	1.00	85.00	-
Subtotal							710.00
2 EQUIPOS NO INCLUIDOS EN LOS COSTOS							
ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	% INCIDENCIA	TIEMPO	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
2.10	DRONE /Incluye Componentes	Dias	1.00	100.00	1.00	300.00	300.00
2.20	Laptop Core I7	Dias	1.00	100.00	5.00	100.00	500.00
2.30	Camioneta 4x4-Pick Up	Dias	1.00	100.00	1.00	150.00	150.00
Subtotal							950.00
3 MOBILIARIO Y MATERIALES DE ESCRITORIO							
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	%DEPRECIACION	TIEMPO (VIDA UTIL)	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
3.10	Materiales de Oficina	und	1.00		5.00	10.00	50.00
3.20	Escritorios con sillas	und	2.00	5%	5.00	-	0.00
3.30	Mesa de reuniones con sillas	und	2.00	5%	5.00	-	0.00

3.40	Pizarra acrílica	und	1.00	5%	5.00	-	0.00
3.50	Estante	und	2.00	5%	5.00	-	0.00
Subtotal							50.00
4 COMBUSTIBLE Y CARBURANTES							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	% INCIDENCIA	TIEMPO	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
4.10	Petroleo	gln	2.00	100%	1.00	.95 ¹⁸	37.90
Subtotal							37.90
5 EQUIPOS DE SEGURIDAD							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	%INCIDENCIA	TIEMPO	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
5.10	Guantes de cuero	und	8.00			7.62	60.96
5.20	Lentes protectores	und	5.00			5.08	25.40
5.30	Cascos	und	5.00			21.19	105.95
5.40	Botas de Cuero punta de acero	par	5.00			50.00	250.00
5.50	Chaleco reflectivos de seguridad	und	5.00			15.00	75.00
Subtotal							517.31
TOTAL GASTOS GENERALES							S/. 2,265.2

Nota. Datos Elaborados Propiamente (2023).

El costo de los gastos generales con levantamiento topográfico con dron asciende a S/2265., siendo menor que el levantamiento con estación total.

Tabla 25.

Tiempo y costo con GPS Diferencial

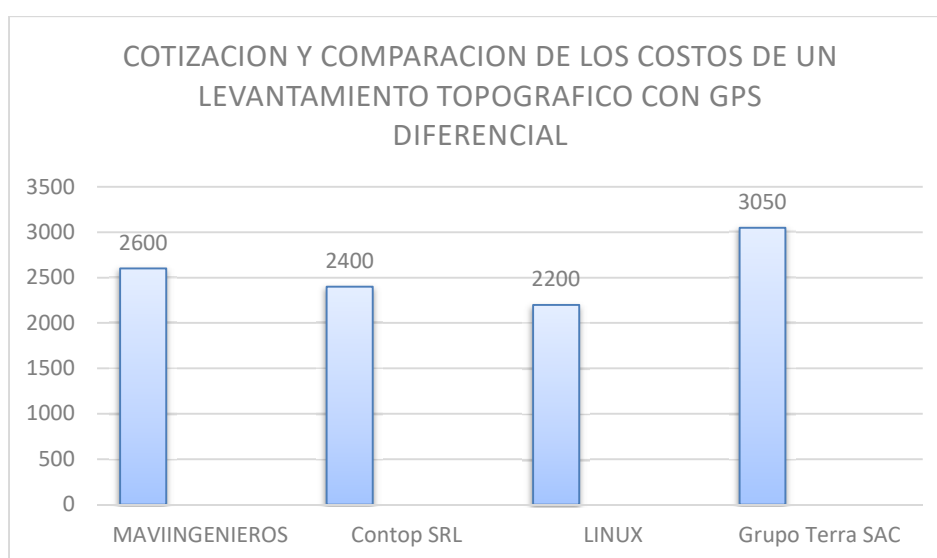
Empresa	Costo	Tiempo
MAVIINGENIEROS	2100	2
Contop SRL	1900	2

LINUX	1450	2
Grupo Terra SAC	2550	1
COSTO Y TIEMPO PROMEDIO	2000	1.75

Nota. Datos Elaborados Propiamente (2023).

Figura 60.

Tiempo y costo con GPS diferencial



Nota. El costo menor con la empresa LINUX con un monto de 1450 y el mayor con el Grupo Terra SAC. Con 2550.

Tabla 26.

Gastos generales con GPS Diferencial

(A) GASTOS GENERALES FIJOS PARA ELABORACION DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO CON GPS DIFERENCIAL							
COSTO DE ASISTENCIA TECNICA							
ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	% INCIDENCIA	TIEMPO (Día)	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
1.1	Operario Topografo	dias	1.00	100%	2.00	130.00	260.00
1.2	Cadista	dias	1.00	100%	3.00	100.00	300.00
1.3	Conductor	dias	1.00	100%	2.00	80.00	160.00

1.4	Porta Receptores	dias	2.00	100%	2.00	5.00 ⁸	340.00
Subtotal							1,060.00

2	EQUIPOS NO INCLUIDOS EN LOS COSTOS	UNID	CANT	% INCIDENCIA	TIEMPO	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
2.10	GNSS GPS DIFERENCIAL /Inc. Componentes	Dias	1.00	100.00	2.00	300.00	600.00
2.20	Laptop Core I7	Dias	.00	100.00	3.00	50.00	150.00
2.30	Camioneta 4x4-Pick Up	Dias	1.00	100.00	2.00	200.00	400.00
Subtotal							1,150.00

MOBILIARIO Y MATERIALES DE ESCRITORIO							
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	%DEPRECIACION	TIEMPO (VIDA UTIL)	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
.10	Material de Oficina	und	1.00		.00	50.00 ¹	50.00
.20	Escritorios con sillas	und	2.00	5%	.00	-	0.00
.30	Mesa de reuniones con sillas	und	2.00	5%	.00	-	0.00
.40	Pizarra acrilica	und	1.00	5%	.00	-	0.00
.50	Estante	und	2.00	5%	.00	-	0.00
Subtotal							50.00

COMBUSTIBLE Y CARBURANTES							
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	% INCIDENCIA	TIEMPO	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)
.10	Petroleo	gln	2.00	100%	2.00	18.95	75.80
Subtotal							75.80

EQUIPOS DE SEGURIDAD							
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	%INCIDENCIA	TIEMPO	VALOR UNITARIO (S/.)	VALOR TOTAL (S/.)

5.10	Guantes de cuero	und	8.00	7.62	60.96
5.20	Lentes protectores	und	5.00	5.08	25.40
5.30	Cascos	und	5.00	21.19	105.95
5.40	Botas de Cuero punta de acero	par	5.00	50.00	250.00
5.50	Chaleco reflectivos de seguridad	und	5.00	15.00	75.00
Subtotal					517.31
TOTAL GASTOS GENERALES					S/. 2,853.11

Nota. datos elaborados propiamente (2023).

El monto de los gastos generales del levantamiento topográfico con GPS diferencial se encuentra entre la estación total y drone, que asciende a 2853.11.

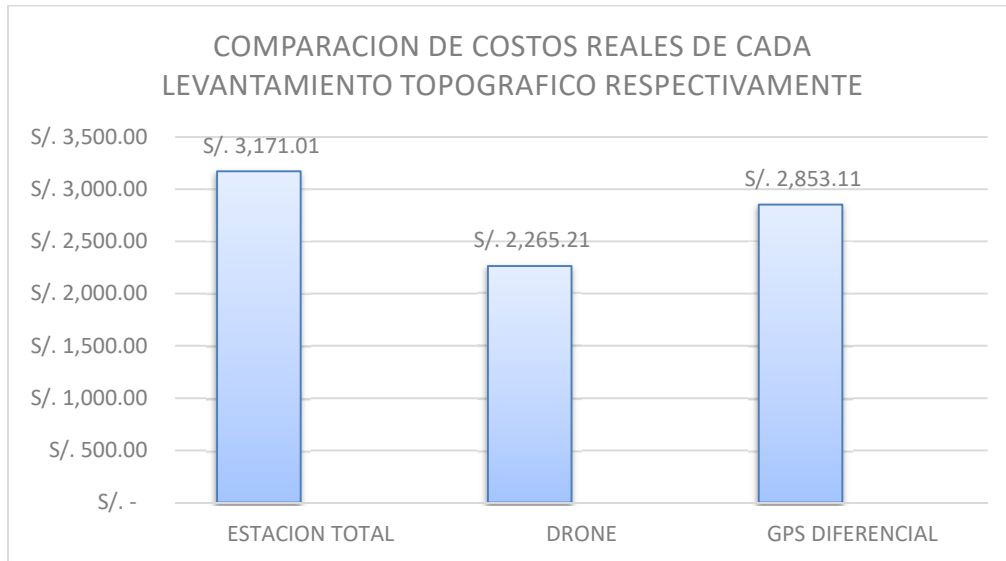
RESUMEN DE COSTOS Y TIEMPOS

Tabla 27.

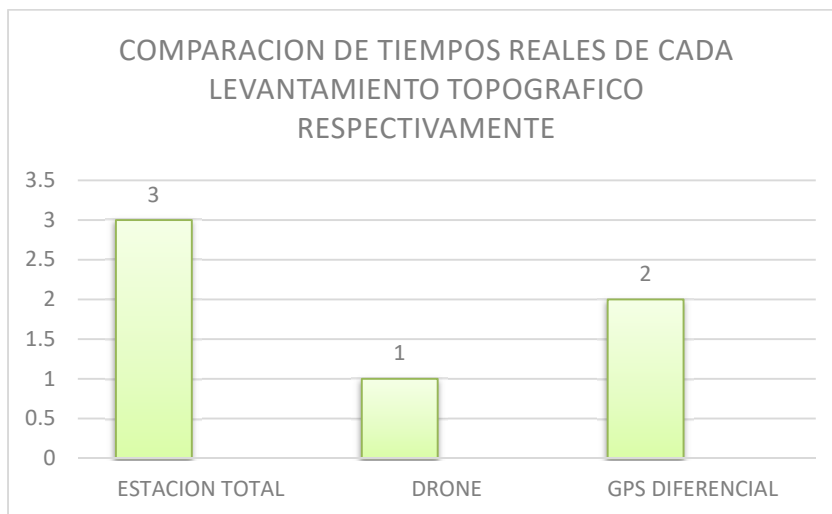
Resumen de costos y tiempos

RESUMEN GENERAL DE COSTOS Y TIEMPOS						
ITEM	EQUIPO	COSTO (SOLES)	TIEMPO (DIAS)	INCIDENCIA	TOTAL	
1	ESTACION TOTAL	S/. 3,171.01	3	100 %	S/ 3,171.01	S/ 3,171.01
2	DRONE	S/. 2,265.21	1	100 %	S/ 2,265.21	S/ 2,265.21
3	GPS DIFERENCIAL	S/. 2,853.11	2	100 %	S/ 2,853.11	S/ 2,853.11

Nota. Datos Elaborados Propiamente (2023).

Figura 61.**Costos**

Nota. Datos Elaborados Propiamente (2023).

Figura 62.**Tiempo**

Nota. Datos Elaborados Propiamente (2023).

De las imágenes anteriores, se logra apreciar que el costo y el tiempo con menor valor viene a ser con el levantamiento topográfico con drone con valor de S/ 2.265.21 y 1 día, respectivamente.

4.2. DISCUSIÓN

El propósito de la presente investigación es comparar la precisión, tiempo y costo de acuerdo a los métodos de levantamientos topográficos utilizados en la carretera Karcatera-Abancay-2023.

a) Discusión de los resultados del Objetivo Especifico 01

En términos de precisión, los levantamientos topográficos usando drones ha avanzado significativamente, su eficiencia y su capacidad para acceder a terrenos difíciles lo hacen valioso en diversas aplicaciones, sin embargo, sin embargo, la precisión absoluta y la dependencia del gps son consideraciones clave que deben abordarse para garantizar resultados confiables.

Se llevaron a cabo 02 levantamientos topográficos completos utilizando el dron mavic y otros 02 levantamientos mediante el uso de la estación total, que nos facilitó la obtención de múltiples medidas de cada equipo, permitiéndonos calcular un promedio de las coordenadas en este, norte y altura para cada equipo, y este promedio fue comparado con el valor real proporcionado por el GPS diferencial South, lo que resulto la identificación de errores absolutos y relativos, estos resultados respaldaron la hipótesis general y las hipótesis específicas. Siendo estos los siguientes, en la coordenada este se tiene la variabilidad de 41.1 cm, en la coordenada norte de 39.7 cm y en la altura 157.7 cm , siendo el Dron el que posee la menor desviación estándar en este, norte y altura con valores iguales a 0.43, 0.41 y 0.37 respectivamente, y la estación total con valores iguales a 1.10, 0.61 y 0.38 , respectivamente en resumen, la desviación estándar más baja para los datos con dron sugiere que hay menos variabilidad en esas mediciones, lo que se interpreta como una mayor precisión o que tiene mayor consistencia en

comparación con la estación total, por otro lado la desviación estándar más alta para los datos con estación total indica mayor dispersión en esas mediciones, por lo tanto estos resultados respaldan la hipótesis general y específicas. Existiendo una variación desestimable en relación a los trabajos de los levantamientos topográficos realizados; cabe señalar que (Luna, 2021), en su investigación tiene como resultados diferencia de 67.57cm, 55.65cm y 0.95cm en este, norte y altura respectivamente, existiendo una variabilidad desestimable entre ambas investigaciones, por otro lado (Jimenez, Magaña y Soriano, 2019) en su investigación obtiene que el comparativo entre el dron y la estación total presentan desviaciones estándar que varían en un rango de 1.00 a 5.00 cm respectivamente, dado que el uso de la estación total implica más posibles fuentes de errores, los resultados son satisfactorios en ambos casos debido a la escasa variación observada entre ellos.

b) Discusión de los resultados del Objetivo Especifico 02

En relación al tiempo necesario para llevar a cabo el estudio, se abordaron diversas etapas de su evaluación, comenzando con la instrumentación, instalación, operación y trabajo en gabinete para ambas metodologías, se registraron 72 horas al emplear la estación total, en comparación con 24 horas al utilizar el equipo dron, lo que refleja un ahorro del 66.6% del tiempo. Además, existe la posibilidad de llegar a optimizar hasta un 70%, considerando una mayor cantidad de baterías para el dron y un ordenador avanzado de última generación que agiliza el procesamiento de las fotografías, cabe señalar que (Leiva y Niño de guzmán, 2021) en su investigación obtienen 70 horas y 40 horas con la estación total y el dron respectivamente, lo que indica que el dron es más eficiente en este tipo de

trabajos. Por otro lado (Cuenca, 2021) en su investigación resulta con una diferencia de solamente 2 horas entre ambos equipos, siendo el dron el que tiene la ventaja.

c) Discusión de los resultados del Objetivo Especifico 03

En términos de costos, la preferencia recae en el uso del dron en comparación con el uso de la estación total, ya que esta última implica más tiempo de uso en el ámbito de estudio, por lo cual los gastos directos como alquiler el equipo y personal se aumentan de acuerdo al tiempo del levantamiento, haciendo que el método de indirecto dron, sea un 28.57% más económico que la estación total, con un costo de S/ 2,265.21 para el dron y S/ 3,171.01 para la estación total. Por otro lado, según (Yomona, 2021) en su investigación concluye que un levantamiento topográfico con estación total por hectárea resulta de S/. 4,800 en comparación con el dron de S/ 2,500, viendo un ahorro considerable. Así también (Cuenca, 2021) resulta en su investigación un levantamiento topográfico con estación total costea el monto de S/ 413.9 en comparación con el dron de S/ 216.5, concluyendo que las mayores diferencias se encuentran en el personal de campo y alquiler de equipos.

4.3. PRUEBA DE HIPOTESIS

La prueba de hipótesis es un procedimiento que determina si se puede descartar o aceptar una afirmación sobre una población en función de la evidencia proporcionada por los datos muestrales. Este análisis examina el comportamiento de dos hipótesis contrapuestas en relación con una población: la hipótesis nula, sostiene que no hay efectos, indiferencias, y la hipótesis alterna, que afirma su veracidad respaldándose en todas las pruebas recopiladas a partir de la muestra de datos.

El tipo de estadística que se utilizará en esta tesis será la “t” de student, está recomendada para comparar los promedios de dos muestras y determinar si se rechaza o acepta la hipótesis nula o alterna.

a) Nivel de Significancia (alfa)

$$\alpha = 5\% = 0.05$$

b) Prueba estadística – t de student

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_c^2}{n_1} + \frac{s_c^2}{n_1}}}$$

$$s_c^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

X=Media de la muestra 1 (error absoluto con drone)

Y= Media de la muestra 2 (error absoluto con estación total)

N1= Cantidad de la muestra 1

N2= Cantidad de la muestra 2

Sc= Varianza común

c) **Región Crítica**

El t_c (valor crítico t) se determina a partir de la tabla de distribución t de Student, teniendo en cuenta un nivel de significancia α del 5%, equivalente a 0.05, y los grados de libertad.

4.3.1. Prueba de estadística para la hipótesis específica 01

Hipótesis específica 01

H₀: ($\mu_1 = \mu_2$) El error general de un levantamiento topográfico mediante dron **no es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

H_i: ($\mu_1 \neq \mu_2$) El error general de un levantamiento topográfico mediante dron **es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

$$\alpha = 5\% = 0.05$$

a) Prueba de hipótesis específica 01 – error general con dron y estación total

Tabla 28.

Cuadro de datos - error general en este (m)

Nro	DRONE	ESTACION TOTAL
1	0.073	0.845
2	0.411	1.29
3	0.017	0.187
4	0.342	0.813
5	0.119	0.426
6	0.427	0.025
7	0.124	0.009
8	0.057	0.759
9	0.55	1.574
10	0.489	0.757
11	1.58	0.512
12	0.016	0.092

13	0.668	0.109
14	0.246	0.012
15	0.406	1.609
16	0.751	0.396
17	0.523	2.627
18	0.437	0.597
19	0.449	1.387
20	0.164	0.299
21	0.311	0.78
22	0.001	0.49
23	0.694	1.418
24	0.1	0.503
25	0.052	0.199
26	0.064	0.283
27	0.131	0.155
28	0.07	0.416
29	0.325	0.763
30	0.066	0.083
31	0.013	1.221
32	0.055	0.943
33	0.402	0.969
34	0.362	1.528
35	0.055	0.864

Nota. Elaboración Propia

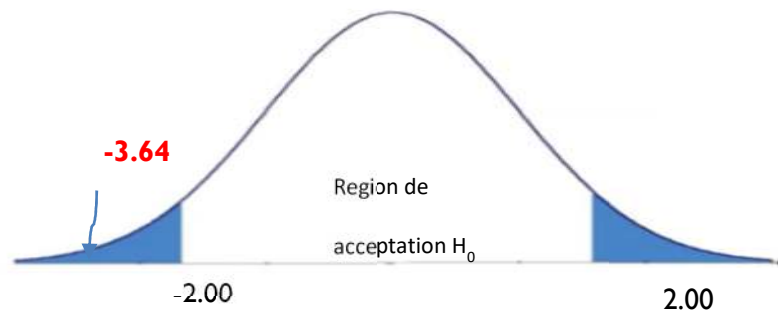
Tabla 29.

Distribución de "t de student" – error general en este "x"

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0.30	0.71
Varianza	0.10	0.35
Observaciones	35.00	35.00
Varianza agrupada	0.22	
Grados de libertad	68.00	
Estadístico t	-3.64	
P(T<=t) una cola	0.00	
Valor crítico de t (una cola)	1.67	
P(T<=t) dos colas	0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	2.00	

Figura 63.

Campana de Gauss – error general en este “x”



Nota. Elaboración Propia

$T = -3.64$ pertenece a la región de rechazo, por lo tanto, aceptamos H_1 y rechazamos H_0 , **H_1** : El error general de un levantamiento topográfico mediante drone **es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

Tabla 30.

Cuadro de Datos -Error general en Norte (m)

Nro	DRONE	ESTACION TOTAL
1	0.328	0.762
2	0.245	1.385
3	0.274	0.386
4	0.479	0.439
5	0.277	0.873
6	0.368	0.21
7	0.397	0.737
8	0.022	0.961
9	0.378	0.508
10	0.082	2.291
11	0.077	0.327
12	0.494	1.012
13	0.017	1.82

14	0.314	0.166
15	0.332	0.651
16	0.147	1.336
17	0.061	1.632
18	0.191	1.308
19	0.159	1.282
20	0.118	0.097
21	0.021	0.161
22	0.164	0.035
23	0.467	0.384
24	0.289	0.007
25	0.177	0.068
26	0.208	0.478
27	0.452	0.431
28	1.455	0.106
29	1.359	0.078
30	0.126	0.082
31	0.161	0.218
32	0.134	1.753
33	0.122	0.134
34	0.012	1.806
35	0.33	0.204

Nota. Elaboración Propia

Tabla 31.

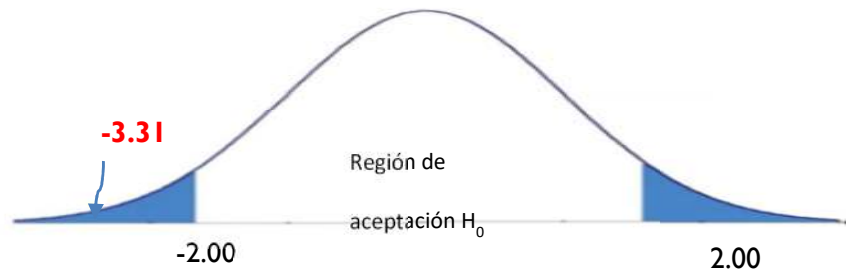
Distribucion de "t de student" – Error general en Norte "y"

	Variable 1	Variable 2
Media	0.292485714	0.689371429
Varianza	0.097450728	0.40451024
Observaciones	35	35
Varianza agrupada	0.250980484	
Grados de libertad	68	
Estadístico t	-3.314091654	
P(T<=t) una cola	0.000738208	
Valor crítico de t (una cola)	1.667572281	
P(T<=t) dos colas	0.001476417	
Valor crítico de t (dos colas)	1.995468931	

Nota. Elaboración Propia

Figura 64.

Campana de Gauss – Error general en Norte “y”



Nota. Elaboración Propia

$T = -3.31$ pertenece a la región de rechazo, por lo tanto, aceptamos H_1 y rechazamos H_0 , **H_1** : El error general de un levantamiento topográfico mediante drone **es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

Tabla 32.

Cuadro de datos -error general en cota (m)

Nro	DRONE	ESTACION TOTAL
1	0.055	1.767
2	0.075	1.732
3	0.295	1.684
4	0.685	1.868
5	0.76	1.678
6	0.2	1.822
7	1.235	1.813
8	0.07	3.014
9	0.205	1.986
10	0.12	2.073
11	0.195	1.76

12	0.195	1.827
13	0.74	1.831
14	0.49	1.733
15	0.095	1.65
16	0.075	1.917
17	0.32	1.95
18	0.14	1.682
19	0.18	1.356
20	0.555	1.88
21	0.25	1.515
22	0.185	2.503
23	0.095	2.12
24	0.24	1.555
25	0.435	2.649
26	0.185	2.422
27	0.04	1.328
28	0.115	1.609
29	0.245	1.733
30	0.2	1.675
31	0.2	1.817
32	0.015	1.601
33	0.77	3.044
34	0.665	2.117
35	0.59	1.384

Nota. Elaboración Propia

Tabla 33.

Distribucion de "t de student" – Error general en Cota "z"

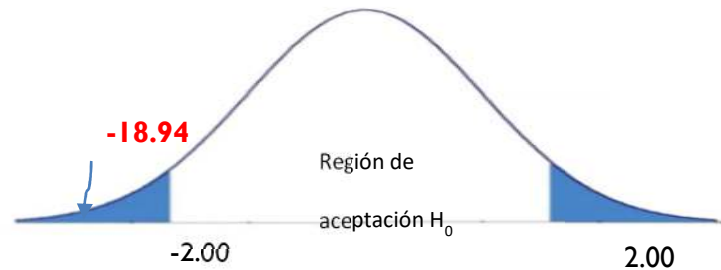
	Variable 1	Variable 2
Media	0.311857143	1.888428571
Varianza	0.07738395	0.165246664
Observaciones	35	35
Varianza agrupada	0.121315307	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	68	
Estadístico t	-18.93541709	
P(T<=t) una cola	4.03575E-29	
Valor crítico de t (una cola)	1.667572281	

P(T<=t) dos colas	8.0715E-29
Valor crítico de t (dos colas)	1.995468931

Nota. Elaboración Propia

Figura 65.

Campana de Gauss – Error general en Cota “z”



Nota. Elaboración Propia

T=-18.94 pertenece a la región de rechazo, por lo tanto, aceptamos H₁ y rechazamos H₀, **H₁**: El error general de un levantamiento topográfico mediante drone **es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

4.3.2. Prueba de estadística para la hipótesis específica 02

Hipótesis específica 02

H₀: ($\mu_1 = \mu_2$) El tiempo de realización de un levantamiento topográfico mediante drone **no es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

H₁: ($\mu_1 \neq \mu_2$) El tiempo de realización de un levantamiento topográfico mediante drone **es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

$\alpha = 5\% = 0.05$

b) Prueba de hipótesis específica 02 – tiempo de realización de un levantamiento topográfico mediante drone y estación total.

Tabla 34.

Cuadro de datos -tiempo de realización de cada equipo (m)

	DRONE	ESTACION TOTAL
TIEMPO 1er LEVANTAMIENTO (Horas)	24	72
TIEMPO 2do LEVANTAMIENTO (Horas)	24	72
Promedio	24	72

Nota. Elaboración Propia

Tabla 35.

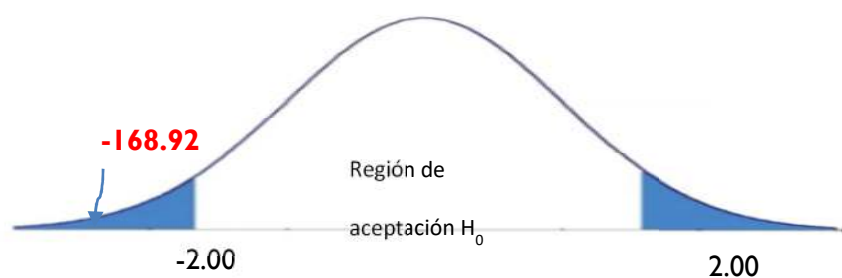
Distribucion de “t de student” – Tiempo Total

	Variable 1	Variable 2
Media	22.77142857	69.85714286
Varianza	0.475630252	2.243697479
Observaciones		35
Varianza agrupada	1.359663866	
Grados de libertad		68
Estadístico t	-168.9244095	
P(T<=t) una cola	2.95553E-91	
Valor crítico de t (una cola)	1.667572281	
P(T<=t) dos colas	5.91105E-91	
Valor crítico de t (dos colas)	1.995468931	

Nota. Elaboración Propia

Figura 66.

Campana de Gauss – Tiempo Total



Nota. Elaboración Propia

$T=-168.92$ pertenece a la región de rechazo, por lo tanto, aceptamos H_1 y rechazamos H_0 , **H_1** : El tiempo de realización de un levantamiento topográfico mediante drone **es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

4.3.3. Prueba de estadística para la hipótesis específica 03

Hipótesis específica 03

H_0 : ($\mu_1 = \mu_2$) El costo general de un levantamiento topográfico mediante drone **no es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

H_1 : ($\mu_1 \neq \mu_2$) El costo general de un levantamiento topográfico mediante drone **es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

$\alpha = 5\% = 0.05$

a) Prueba de hipótesis específica 02 – tiempo de realización de un levantamiento topográfico mediante drone y estación total.

Tabla 36.

Cuadro de datos -costo de ejecución de cada equipo (m)

	DRONE	ESTACION TOTAL
Costo 1er LEVANTAMIENTO (S/.)	2,265.21	3,171.01

Costo 2do LEVANTAMIENTO (S/.)	2,265.21	3,171.01
Promedio (S/.)	2,265.21	2,265.21

Nota. Elaboración Propia

Tabla 37.

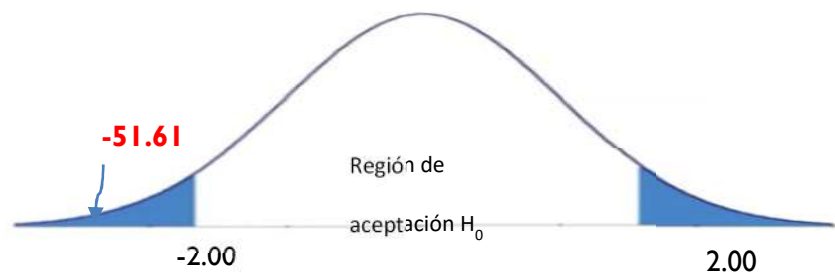
Distribución de "t de student" – Costo Total

	Variable 1	Variable 2
Media	2102.457143	3042.485714
Varianza	3079.784874	9165.257143
Observaciones	35	35
Varianza agrupada	6122.521008	
Grados de libertad	68	
Estadístico t	-50.25681202	
P(T<=t) una cola	8.32577E-56	
Valor crítico de t (una cola)	1.667572281	
P(T<=t) dos colas	1.66515E-55	
Valor crítico de t (dos colas)	1.995468931	

Nota. Elaboración Propia

Figura 67.

Campana de Gauss – Costo Total



Nota. Elaboración Propia

$T = -51.61$ pertenece a la región de rechazo, por lo tanto, aceptamos H_1 y rechazamos H_0 , **H_1** : El costo general de un levantamiento topográfico mediante drone **es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

$T=-52.65$ pertenece a la región de rechazo, por lo tanto, aceptamos H_1 y rechazamos H_0 , **H_1** : El costo general de un levantamiento topográfico mediante dron **es menor** que los levantamientos topográficos realizados mediante los métodos convencionales.

Por lo tanto, los resultados obtenidos en el procesamiento estadístico, son verificados por un especialista en el área, así como su misma validación de ellas, lo cuales el grado de confiabilidad de los resultados son verídicos para su comprobación y aprobación de esta investigación.

CONCLUSIONES

Conclusión del Objetivo General

Fue factible demostrar la Hipótesis General: "El análisis de los resultados al comparar la precisión de los levantamientos topográficos realizados con drones es superior a los resultados de los levantamientos realizados con métodos convencionales en la carretera Karcatera-Abancay-2023".

Conclusión del Objetivo específico 01

En cuanto a las conclusiones, que muestran que la precisión aumenta cuando los levantamientos topográficos se realizan utilizando UAVs (drones) y que se obtiene un mayor grado de detalle de los numerosos puntos producidos por la ortofoto, así como valores más altos que nos proporcionan indicadores de rendimiento, que mejoran la precisión cuando se representan planos topográficos. Si examinamos también la precisión de los valores, podemos llegar a la conclusión de que un levantamiento topográfico realizado con tecnología UAV arroja resultados más exactos, ya que los datos se aproximan sustancialmente más al valor real (determinado por GPS diferencial).

Entre entre el levantamiento topográfico realizado con una estación total y un dron sobre la coordenada este, hay más errores absolutos en un número significativo de puntos. La localización BM17 presenta la mayor inexactitud absoluta, de 0,523 con el dron y de 2,627 con la estación.

Conclusión del Objetivo específico 02

La comparación entre un levantamiento topográfico realizado con un dron en 24 horas y una estación total que requiere 72 horas revela diferencias significativas en términos de eficiencia y rapidez. Mientras que el dron ofrece una

solución más rápida, completando el levantamiento en un tercio del tiempo, la estación total se caracteriza por un proceso más prolongado.

En consecuencia, la elección entre estas dos tecnologías dependerá de las necesidades específicas del proyecto. Si la prioridad es la eficiencia temporal y la obtención rápida de datos topográficos, el dron podría ser la opción preferida.

Conclusión del Objetivo específico 03

el análisis comparativo entre un levantamiento topográfico realizado con un dron, con un costo de S/ 2265.21 , y una estación total, cuyo levantamiento implica un desembolso de S/ 3171.01 , ha proporcionado valiosos insights para la toma de decisiones en proyectos topográficos. La diferencia significativa en los costos entre ambas tecnologías invita a considerar el dron como opción para levantamientos topográficos en carreteras.

RECOMENDACIONES

Recomendación de la conclusión general

Se recomienda el uso del dron para trabajos en la especialidad de carreteras con el propósito de obtener levantamientos topográficos con una precisión alta.

Recomendación de la conclusión específica 01

Se sugiere llevar a cabo múltiples mediciones, con un mínimo de tres, con el fin de reducir los valores de errores absolutos y relativos. Este enfoque se traducirá en una mayor aproximación al valor real y en un aumento del porcentaje de precisión, contribuyendo así a obtener datos más confiables en el levantamiento.

En situaciones en las que los levantamientos topográficos resulten de difícil acceso, especialmente en casos en los que el topógrafo deba ascender a cotas elevadas, transitar pendientes pronunciadas para su representación o realizar instrumentación en espacios reducidos, se aconseja emplear un equipo UAV. Este dispositivo facilitará considerablemente el desarrollo del proceso de trabajo.

Recomendación de la conclusión específica 02

Se recomienda emplear un dron para levantamientos topográficos debido a su notable eficiencia en términos de tiempo de ejecución. La utilización de un dron agiliza significativamente el proceso de mapeo, permitiendo completar levantamientos en lapsos considerablemente más cortos en comparación con métodos convencionales. Esta reducción en el tiempo de ejecución no solo mejora la productividad, sino que también minimiza las interrupciones en las operaciones, lo que es especialmente beneficioso en proyectos que requieren resultados rápidos. No obstante, es esencial garantizar que se cumplan los requisitos normativos y técnicos para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos recopilados

Recomendación de la conclusión específica 03

Se recomienda utilizar un dron para levantamientos topográficos debido a su bajo costo de ejecución. Esta elección no solo permite optimizar los recursos financieros, sino que también agiliza el proceso de levantamiento, reduciendo los gastos asociados a la mano de obra y el tiempo requerido. Además, el dron proporciona flexibilidad en el acceso a áreas de difícil alcance, lo que contribuye a la eficiencia general del proyecto. Sin embargo, es crucial garantizar que el dron seleccionado cumpla con los requisitos técnicos y normativas aplicables para garantizar resultados precisos y confiables.

Bibliografía

Amaringo y Mundaca. *“Evaluación y comparación de un levantamiento topográfico con estación total y drone en la elaboración del expediente de situaciones de riesgos potenciales del km 184+400 y km 184+700 en la carretera dv. cerro de pasco – huánuco”.* Huanuco : Universidad Nacional Hermilio Valdizan, 2020. págs 1-139, Tesis de grado.

Centro de Escritura Javeriano. 2020. *Normas APA, Séptima edición.* Pontificia Universidad Javeriana, sección Cali, Colombia 2020.

Cuenca. 2021. *"Análisis comparativo técnico - económico entre el levantamiento topográfico aerofotogramétrico usando drones y el método tradicional con estación total".* Huancayo : Universidad Peruana del Centro, 2021. págs 1-128, Tesis de Pregrado.

Ibañez, Andrade, Loaiza, Barreto y Buitrago. 2019. *Generalidades, caracterización e implementación de aeronaves remotamente tripuladas para levantamiento topográfico.* Facultad de ingeniería. Bogota : Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera, 2019.

Jimenez y Prado. 2017. *Análisis técnico comparativo entre los métodos topográficos tradicionales y el método de aerofotogrametría con vehículo aéreo no tripulado.* Quito : Universidad Politécnica Nacional, 2017. Tesis de grado.

Jimenez, Magaña y Soriano. 2019. *Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con Estación Total como método directo y el uso de drones y GPS como métodos indirectos.* San Salvador : Universidad de El Salvador, 2019. págs. 1-137, Tesis de Pregrado.

Leiva y Niño de Guzman. 2021. *“Evaluación Comparativa de la Precisión en levantamientos topográficos efectuados mediante vehículo aéreo no tripulado*

(UAV) a 50 metros de altura y el método tradicional en la carretera abra Ccorao-Ccorao". Cusco : Universidad Andina del Cusco, 2021. págs 1-183, Tesis de Pregrado.

Machado. 2022. *Topografía Básica en Español. Brasil : Universidad Federal Rural de Pernambuco, 2022.*

Paucar. 2019. *"Aplicación de Fotogrametría digital de objeto cercano en infraestructura mina, proyecto minero las Bambas-Apurímac". Cusco : Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, 2019. págs 1-90, Tesis de Pregrado.*

Pavel Dávalos. *Aereofotogrametría Inteligente (AFI). Perú : Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción del Ministerio de Vivienda en Perú.*

Pedraza. 2019. *Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio, Los Olivos - 2019. Lima : Universidad Cesar Vallejo, 2019. págs. 1-151, Tesis de pregrado.*

Quezada. 2022. *Evaluación de confiabilidad entre estación total aerofotogrametría con rpas y gps diferencial, aplicado a proyectos de minería. Azogues : Universidad Católica de Cuenca, 2022. págs 1-151, Tesis de Pregrado.*

Reuter y Pedenovi. 2019. *Los Drones y sus Aplicaciones a la Ingeniería. Argentina : Universidad Nacional de Santiago del Estero, 2019. Catedra.*

Saez, Beltrán. 2015. *PLos Drones y sus Aplicaciones en la Ingeniería Civil 2015 : Graficas Arias Montano. págs. 1-237.*

Salas. 2022. *Análisis comparativo sobre levantamientos topográficos mediante drones respecto a levantamientos topográficos convencionales. Neiva : Universidad Cooperativa de Colombia, 2022. págs 1-59, Tesis de Pregrado.*

Sampieri, Roberto. 2018. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Ciudad de México : McGraw-Hill, 2018.

Sanchez, C. (08 de febrero del 2019). Normas APA-7ma (séptima) edición. Normas APA (7ma edición).

Universidad Tecnológica de los Andes 2020. *Reglamento de Investigación Versión 6.0.* Universidad Tecnológica de los Andes. Perú.

Yamasqui. 2022. *Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales, utilizando estación total o gps diferencial.* Ecuador : Universidad Nacional de Chimborazo, 2022. págs. 1-96, Tesis de pregrado.

Yomona. 2021. *"Comparación de precisión realizada con dron respecto al método tradicional en un relieve semi montañoso del a.h. nuevo progreso, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, 2019".* Chiclayo : Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2021. págs 1-66, Tesis de Pregrado.