

**UNIVERSIDAD DE
CONCEPCIÓN**
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería
Metalúrgica

Profesores Patrocinantes
Ramón Díaz Noriega
Frank Tinapp Dautzenberg

**“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA TOPOGRAFÍA CLÁSICA CON
ESTACIÓN TOTAL Y LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL MEDIANTE
VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS (VANT) EN MINERÍA A CIELO
ABIERTO”**



FABIÁN ANTONIO OJEDA MOLINA

Informe de Memoria de Título
para optar al Título de

Ingeniero Civil de Minas

Junio, 2023



Alles zu seiner Zeit!!

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerle a mi familia la cual siempre ha estado presente y nunca ha dejado de confiar en mí persona, le dedico este logro a mis padres y hermanos, mi madre Elba Molina Barriga que siempre me ha alentado a no decaer, mi padre Indalicio Ojeda Barrientos, mis hermanos, Nicolás Ojeda Molina quien siempre se ha preocupado por mi bienestar, Escarledt Ojeda Molina quien siempre ha estado presente dándome ánimos y creyendo fielmente, también agradecerle a mis amigos, Lucia Rivas, Makarena Morales, Philippa Scabell, Natalia Obregón, Carlos Novoa y Franco Cantergiani quienes me tendieron una mano cuando más lo necesité.

Agradecer también a todos los docentes que de alguna u otra forma estuvieron presentes en esta memoria de título, comenzando con mis profesores del departamento Ingeniería de Minas y Metalurgia, Asieh Hekmat, quien fue la persona con la cual comencé este trabajo, docente que siempre tuvo un aliento y siempre me transmitió energías positivas. Al docente Ramón Díaz Noriega, que si no fuera por sus sinceras palabras me hubiera costado mucho este proceso, sé que serán cada vez mejores profesionales, y más que eso, mejores personas. Al docente del departamento de Ingeniería Aeroespacial, Frank Tinapp quien, desde el comienzo, no tuvo problemas en participar en esta memoria, gestionando las herramientas y contactos necesarios para lograr hacer posible este estudio. Al docente de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Oscar Cifuentes quien me colaboró con las licencias de herramientas informáticas. A Andrew Rifo del departamento de Cs. Geodésicas y Geomática, quien no dudo en compartir su conocimiento en el área de la fotogrametría.

Para finalizar, expresar que gracias a estas personas habría sido mucho más compleja esta etapa, sin más que agregar, desearles el mejor de los éxitos.

RESUMEN

La presente memoria de título comprende un estudio comparativo entre la topografía con estación total y la fotogrametría mediante dron, con el objetivo de analizar sus ventajas y desventajas, con enfoque en la minería a cielo abierto.

Para lograr el objetivo general del estudio, primero se realizó un posicionamiento relativo diferencial GNSS, con el fin de poseer una data fiable de puntos necesarios para una comparativa basada en las precisiones de la topografía clásica con estación total y la fotogrametría digital aérea con dron. También, se analizaron los tiempos requeridos para cada método, y, por último, se evaluaron económicamente los costos de inversión.

En base a los resultados de este estudio, se pudo constatar que las coordenadas obtenidas mediante fotogrametría fueron más precisas que por topografía, no superando los 10 cm en las coordenadas horizontales y 35 cm en la coordenada vertical. Por otra parte, los tiempos requeridos en la determinación final de las coordenadas fueron muy parecidos entre ambos métodos, cabe destacar que, para una misma área de trabajo, los tiempos del método topográfico varía con el número de puntos a determinar, a diferencia de la fotogrametría, la cual no varía. Por último, los costos de inversión en equipos y herramientas informáticas cotizados para un levantamiento fotogramétrico con dron superan en un 7% a la topografía con estación total, lo cual es poco para la diferencia de información obtenida.

Como conclusión, la fotogrametría es una alternativa rápida y económica para realizar levantamientos topográficos en áreas extensas, con la cual se pueden obtener precisiones geográficas centimétricas, que a escala de la gran minería son casi despreciables, poseen la capacidad de llegar a zonas inaccesibles, no entorpece el proceso productivo, y no pone en riesgo el capital humano.

ABSTRACT

The present final thesis comprises a comparative study of topography with total stations and photogrammetry with drones in the context of surface mining, with the objective to study the aiming of advantages and disadvantages of both methods.

First, to clarify the central issue of the work, a relative differential GNSS position determination was performed to obtain reliable data on necessary and comparable coordinates in terms of precisions in the classical topography with total stations and digital aerial photogrammetry with a drone. Furthermore, the time required for each method was analyzed and, subsequently, the investment costs were evaluated from the point of view of economic efficiency.

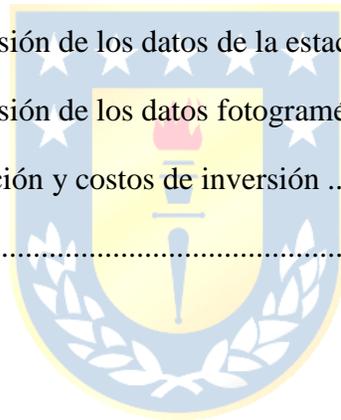
The study findings revealed that data obtained by photogrammetry were more accurate than those obtained by topography, with deviations less than 10 cm for horizontal coordinates and less than 35 cm for vertical coordinates. In addition, the time expenditures calculated from the final coordinate determination did not differ significantly between the two methods; it is worth mentioning that the time expend for the topographic method was increased when the number of points to determined was augmented for an equal study area, while for photogrammetry there were no variations observed. Finally, the estimated investment cost for equipment and tools for a photogrammetric survey with a drone exceeded that of a topography with total stations by 7 %, which is considered low according with the amount of data obtained.

In summary, photogrammetry is a fast and convenient alternative for carrying out topographic surveys on large areas, where it is possible to obtain accuracies for centimeter level, which is almost neglected in large-scale mining, additionally, the method allow survey on inaccessible areas, it does not interfere with the production process and does not expose people to danger.

INDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	- 1 -
1.1. Planteamiento del problema	- 1 -
1.2. Objetivos:.....	- 3 -
1.2.1. Objetivo general:.....	- 3 -
1.2.2. Objetivos específicos:	- 3 -
1.3. Metodología.....	- 4 -
1.4. Alcance y limitaciones.....	- 5 -
2. Marco teórico	- 6 -
2.1. Topografía	- 6 -
2.1.1. Historia de la topografía.....	- 6 -
2.1.2. División de la topografía.....	- 6 -
2.2. Estación total	- 7 -
2.3. Sistemas Satelitales de Navegación Global (GNSS).....	- 9 -
2.4. Fotogrametría.....	- 14 -
2.5. Drones o Vehículos Aéreos No Tripulados.....	- 20 -
2.5.1. Tipos de drones	- 21 -
2.5.2. Normativa para el uso de drones en Chile	- 22 -
3. Aplicaciones de fotogrametría mediante drones en minería	- 25 -
3.1. Monitoreo en los caminos de acarreo	- 25 -
3.2. Cálculo de volúmenes de material.....	- 25 -
3.3. Análisis de grietas y estabilidad	- 26 -
3.4. Perforación y tronadura	- 27 -
3.5. Mapeo y topografía.....	- 28 -
4. Desarrollo experimental	- 29 -
4.1. Descripción de la zona de estudio y puntos.....	- 29 -

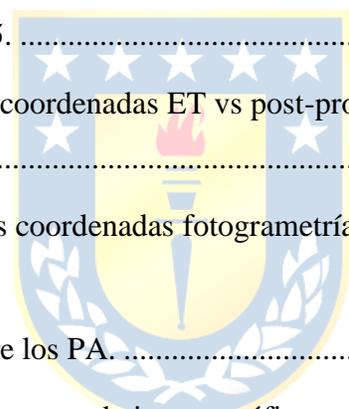
4.2. Descripción de los equipos utilizados	- 31 -
4.2.1. Sistema GNSS Trimble R8s.....	- 31 -
4.2.2. Estación Total South N6.....	- 32 -
4.2.3. Dron: Phantom 4 Pro	- 33 -
4.3. Toma y procesamiento de datos	- 34 -
4.3.1. Posicionamiento GNSS de puntos	- 34 -
4.3.2. Levantamiento fotogramétrico.....	- 38 -
4.3.3. Levantamiento topográfico	- 42 -
5. Análisis de resultados y discusiones	- 44 -
5.1. Resultados y analisis de precisión en toma de los datos GNSS.	- 44 -
5.2. Resultados y análisis de precisión de los datos de la estación total	- 48 -
5.3. Resultados y análisis de precisión de los datos fotogramétricos	- 49 -
5.4. Analisis de tiempos de operación y costos de inversión	- 51 -
6. Conclusiones	- 54 -



ÍNDICE DE FIGURAS

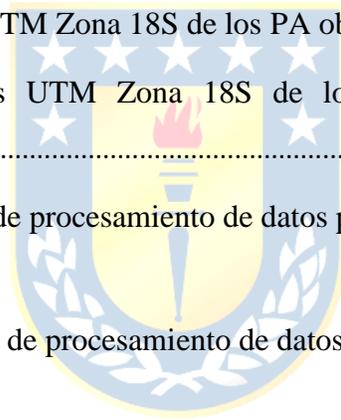
Figura 1. Partes de un instrumento de estación total. (Fuente: Wolf, 2016).....	- 8 -
Figura 2. Ejemplos de poligonales cerradas. (Fuente: Wolf: 2016).....	- 9 -
Figura 3. Segmentos GNSS. (Fuente: Guard, 1996).....	- 11 -
Figura 4. Posicionamiento relativo o diferencial. (Fuente: Wolf, 2016).....	- 12 -
Figura 5. Determinación del tiempo de viaje de la señal por concordancia de códigos. (Fuente: Wolf, 2016).....	- 13 -
Figura 6. Medida de distancia por fase. (Fuente: Berné, 2014).	- 13 -
Figura 7. Ilustración error de multitrayectoria. (Fuente: Berné, 2014).	- 14 -
Figura 8. Visión estereoscópica. (Fuente: Hernandez, 2006).	- 15 -
Figura 9. Escala de una fotografía. (Fuente: Peña, 2011).	- 15 -
Figura 10. Evolución histórica de la fotogrametría. (Fuente: Hernández, 2006).....	- 16 -
Figura 11. Pasadas paralelas y solapamiento entre fotografías en un vuelo fotogramétrico. (Fuente: Peña, 2011).....	- 18 -
Figura 12. Tipos de vuelos. (Fuente: Peña, 2011).....	- 19 -
Figura 13. Diagrama de flujo del procesamiento de datos del software Pix4D Mapper pro. (Fuente: modificado de Lee, 2015a).....	- 20 -
Figura 14. VANT de ala rotatoria, DJI Phantom 4 Pro. (Fuente: Mantey, 2021).....	- 21 -
Figura 15. VANT de ala fija. (Fuente: Shahmoradi, 2020).....	- 22 -
Figura 16. Cartografía de emplazamiento de la zona de estudio. (Elaboración propia)	- 30 -
Figura 17. Visualización punto en terreno.	- 31 -
Figura 18. Sistema GNSS Trimble R8s.	- 32 -
Figura 19. Estación Total South N6.	- 33 -
Figura 20. Dron DJI Phantom 4 Pro.....	- 34 -
Figura 21. Montaje equipo GNSS base y configuración Colectora.	- 35 -
Figura 22. Visualización líneas base generada en post-procesamiento Rinex en TBC.	- 37 -

Figura 23. Cartografía PA y PC. (Elaboración propia)	- 38 -
Figura 24. Visualización de las dianas en terreno. (Elaboración propia).....	- 39 -
Figura 25. Trayectoria de vuelo generada en UGCS.	- 40 -
Figura 26. Visualización de los PC importados en el software PIX4D.	- 41 -
Figura 27. Ortofotografía generada en PIX4D.....	- 41 -
Figura 28. Medición punto de visado con receptores GNSS Trimble R8s.	- 42 -
Figura 29. Cartografía de los puntos PA, PR, PV y PM. (Elaboración propia)	- 43 -
Figura 30. Cartografía de los puntos PA, PC, PR y PV. (Elaboración propia).....	- 45 -
Figura 31. Gráfico de los errores verticales y horizontales de los puntos medidos con el sistema GNSS. (Elaboración propia).....	- 47 -
Figura 32. Visualización PA3 y PC5.	- 47 -
Figura 33. Gráfico de errores de las coordenadas ET vs post-procesadas GNSS. (Elaboración propia)	- 49 -
Figura 34. Gráfico precisiones de las coordenadas fotogrametría vs GNSS. (Elaboración propia)-	50 -
-	
Figura 35. Influencia de los PC sobre los PA.	- 51 -
Figura 36. Gráfico tiempo requerido para trabajo topográfico vs fotogramétrico. (Elaboración propia)	- 52 -



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución de la fotogrametría. (Fuente: Hernández, 2006).	- 17 -
Tabla 2. Tiempos de medición GNSS de acuerdo con la frecuencia. (Fuente: Ministerio de Obras Públicas, 2022).....	- 35 -
Tabla 3. Detalles de levantamiento de cada punto. (Fuente: Archivos de datos crudos receptores Trimble R8s).	- 36 -
Tabla 4. Parámetros del vuelo fotogramétrico.....	- 39 -
Tabla 5. Coordenadas geográficas UTM Zona 18S de los todos los puntos procesados en TBC (metros).	- 44 -
Tabla 6. Errores horizontales y verticales de los puntos medidos con el sistema GNSS.	- 46 -
Tabla 7. Coordenadas geográficas UTM Zona 18S de los PA obtenidos con la ET South 6N.	- 48 -
Tabla 8. Coordenadas geográficas UTM Zona 18S de los PA obtenidos en procesamiento fotogramétrico.....	- 49 -
Tabla 9. Costos equipos y software de procesamiento de datos para fotogrametría digital con Dron..	- 53 -
Tabla 10. Costos equipos y software de procesamiento de datos para topografía clásica con ET.	- 53 -



NOMENCLATURA

UAV: Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo No Tripulado).

MAV: Micro Aerial Vehicle.

DGAC: Dirección General de Aeronáutica Civil.

RPAS: Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia).

OACI: Organización de Aviación Civil Internacional.

LAR: Reglamento Aeronáutico Latinoamericano.

SRVSOP: Sistema Regional de cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional.

RTK: Real Time Kinematic (Cinemática en Tiempo Real).

PPK: Post Processed Kinematic (Cinemática Post Procesada).

JAC: Junta Aeronáutica Civil.

DAN: Normas Aeronáuticas.

NOTAM: Notice To Airmen (Aviso a navegantes).

VLOS: Visual Line of Sight (Dentro del alcance visual del piloto)

BVLOS: Beyond Visual Line of Sight (Mas allá del alcance visual del piloto).

GSD: Ground Sample Distance (Tamaño del pixel en terreno).

DSM: Modelo digital de superficie.

DEM: Modelo digital de elevación.

RPA: Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de Aeronaves tripuladas por control remoto).



1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos que sirve para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra, y debajo de la misma (Wolf, 2016).

A pesar de la evolución de los dispositivos topográficos tradicionales, existen dos nuevos métodos de levantamiento de datos que están ganando terreno en el área minera, como el levantamiento con LIDAR (Light Detection And Ranging) y la Fotogrametría mediante Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) o drones (Park, 2016). Aunque se ha demostrado que los métodos de levantamiento LIDAR y Fotogrametría con dron pueden integrarse para así obtener resultados más precisos (Govekar, 2021).

Recientemente, la industria minera ha mostrado un mayor interés en el uso de drones para operaciones de rutina en minas de superficie y subterráneas (Shahmoradi, 2020). Los VANT se han estado utilizando para realizar el levantamiento topográfico de superficie (Lee, 2015a, 2015b), el mapeo geológico (Behrman, 2019), el monitoreo de los caminos de acarreo (Thompson, 2006; Medinac, 2020; Benevenuti, 2021), el cálculo de volúmenes de las pilas de mineral (Cohelo, 2019), y la cuantificación de la producción en general (Molnar, 2017; Mantey, 2021; Cryderman, 2014).

El uso de drones ha aportado en áreas como la seguridad, específicamente en el estudio de análisis de grietas y estabilidad de taludes (McLeod, 2013; Yousefi, 2019; Winkelmaier, 2020) así como en el monitoreo de los pozos de producción (Xiang, 2018). Por otro lado, se ha aplicado su utilización en el área de perforación y tronadura, en la cual estos dispositivos se encuentran presentes en tareas como: el análisis de la fragmentación de rocas (Bamford, 2017a, 2017b) y la detección partículas de polvo posterior a voladuras (Alvarado, 2015). Por último, los VANT han realizado aportes en el monitoreo y estudio de minas abandonadas (Carabassa, 2020; Carabassa, 2021), por nombrar algunas de las aplicaciones. Es así como la nueva tecnología de los VANT ha ido creando su espacio en la industria de la minería.

Si bien la topografía tradicional entrega buenos resultados en cuanto a la precisión de los levantamientos, el problema es que se requiere de mucho tiempo para la toma de datos, su costo operacional es alto para realizar trabajos en áreas extensas (Lee, 2015b), a diferencia de la

fotogrametría con drones la cual es un método rápido, de bajo costo operacional y seguro para la minería a cielo abierto (Behrman, 2019).

El presente trabajo de memoria busca validar si el levantamiento de datos topográficos mediante fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados (VANT) presenta ventajas significativas frente a la topografía clásica.



1.2. OBJETIVOS:

Los objetivos de esta investigación se describen a continuación:

1.2.1. OBJETIVO GENERAL:

Analizar comparativamente si la fotogrametría mediante dron presenta ventajas significativas frente al levantamiento topográfico convencional con una estación total.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Para alcanzar el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar un análisis comparativo entre los datos obtenidos a partir del dron Phantom 4Pro, respecto a los datos obtenidos mediante la estación total South N6.
2. Comparar la metodología del levantamiento y procesamiento de datos, tanto con drones por medio de fotogrametría aérea, como por topografía clásica, en base a tiempo requerido y costos de inversión.



1.3. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología seguida para alcanzar los objetivos planteados:

Se realizó la búsqueda de información en plataformas científicas relacionadas con el tema de memoria, incluyendo estudios previos para identificar casos de estudio y libros para establecer la base teórica. También se buscó información de fabricantes y empresas de venta de equipos GNSS, drones y estaciones totales, para obtener las especificaciones técnicas de los equipos utilizados.

Una vez definida la base teórica aplicable a la presente memoria de título, se procedió a definir un área de estudio, y diferentes tipos de puntos en terreno:

- Puntos de análisis (PA), necesarios para la comparativa entre el levantamiento fotogramétrico con dron y el topográfico con estación total.
- Puntos de control (PC), para el ajuste de coordenadas en el procesamiento fotogramétrico.
- Punto de visado (PV), para la orientación de la estación total
- Punto de referencia (PR) base para la medición de todos los puntos mencionados anteriormente.

Todos estos puntos fueron medidos mediante un sistema GNSS y procesados en una herramienta informática para obtener sus coordenadas ajustadas, así poseer un conjunto fiable de datos. Posterior a esto se realizaron el levantamiento fotogramétrico con dron y el topográfico con estación total.

Para el trabajo fotogramétrico, se crearon placas de colores (dianas) ubicadas en los PA y PC para su visualización aérea en terreno, se programó un plan de vuelo antes de realizar la captura de fotografías con el dron. Posterior a esto, las fotografías obtenidas se procesaron y ajustaron con los PC en una herramienta informática, obteniendo así un modelo digital del cual se pudo extraer las coordenadas de los PA.

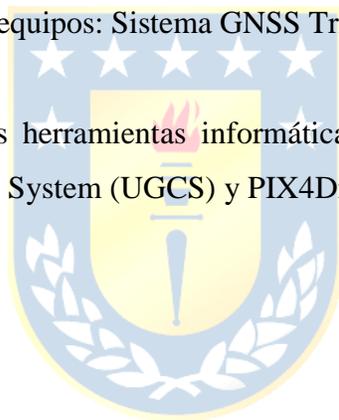
Para el trabajo topográfico, se procedió a la orientación de la estación total con las coordenadas de los puntos PR y PV, para luego registrar el levantamiento de todos los PA, mediante una poligonal cerrada.

Teniendo los PA por fotogrametría con dron y topografía con estación total, se procedió a realizar la comparativa de precisión entre ellos, tomando como base los PA obtenidos en el procesamiento GNSS. Finalmente, se compararon los tiempos de operación y los costos de inversión de ambos métodos, fotogramétrico y topográfico.

1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES

Este trabajo tiene un carácter meramente académico y por lo tanto su alcance está circunscrito a los fines establecidos como base de una memoria de título. Las limitaciones son las que se describen a continuación:

- Geográficamente limitada al campus de la Universidad de Concepción en Concepción.
- Uso exclusivo de los equipos: Sistema GNSS Trimble R8s, Estación Total South N6 y Dron Phantom 4Pro.
- Uso exclusivo de las herramientas informáticas: Trimble Business Center (TBC), Underground Control System (UGCS) y PIX4Dmapper.



2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se dan a conocer las bases teóricas para el desarrollo de este trabajo de investigación, lo que comprende, los conceptos teóricos de topografía, posicionamiento mediante Sistemas Satelitales de Navegación Global (GNSS), y fotogrametría con drones.

2.1. TOPOGRAFÍA

Conforme a lo señalado por Wolf (2016), la topografía es la ciencia, el arte y la tecnología para encontrar o determinar las posiciones relativas de puntos situados por encima de la superficie de la Tierra, sobre dicha superficie y debajo de ella.

2.1.1. HISTORIA DE LA TOPOGRAFÍA

La topografía tiene registros de origen en el siglo XIV a.C. en Egipto, pasando por los griegos donde filósofos y matemáticos comenzaron a desarrollar la geometría, y con ello técnicas para medir alturas y distancias. Con el paso del tiempo se han ido perfeccionando y desarrollando nuevas técnicas e instrumentos de medición y representación.

A principios del siglo XVII nace la topografía moderna, la cual, con la llegada de la era digital a mediados del siglo XX, se crean las estaciones totales y los GPS, equipos que al día de hoy son utilizados entregando datos más precisos y fiables. Los sistemas GPS, ahora denominados GNSS, son parte vital de las actividades topográficas y cartográficas en todo el mundo. (Wolf, 2016)

2.1.2. DIVISIÓN DE LA TOPOGRAFÍA

En función de las operaciones a ejecutar para la representación del terreno, la topografía se divide en planimetría y altimetría.

La planimetría es aquel conjunto de actividades que buscan representar puntos en el espacio sobre un plano de referencia. Las técnicas utilizadas asumen que la dirección de la plomada (vector de la fuerza de gravedad) es perpendicular al plano de referencia, espacio en el cual se representan las coordenadas.

Las coordenadas utilizadas en los levantamientos planimétricos son las coordenadas polares cuyos componentes son ángulo y distancia. Aunque las estaciones totales incluyen sistemas informáticos que procesan la información y recopilan coordenadas rectangulares x e y .

La altimetría es la rama de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura de puntos, respecto a un plano de referencia. Con esta, se logra representar el relieve de un terreno, es decir, la coordenada z de un punto.

2.2. ESTACIÓN TOTAL

El teodolito es el aparato topográfico que reúne en un mismo montaje un sistema óptico-mecánico capaz de medir ángulos horizontales y verticales. Al estar contruidos para medir básicamente ángulos, éstos los miden con mucha precisión. Si el retículo del anteojo dispone de hilos estadimétricos para medir distancias, se le denomina taquímetro o teodolito-taquímetro. A la vez estos pueden ser ópticos o electrónicos, en función básicamente de la forma en que miden y presentan los ángulos. Y si a estos Teodolitos o Taquímetros electrónicos se les incorpora un sistema para medir las distancias por algún sistema electromagnético, se comienza a hablar ya de Estación Total. Además, estas Estaciones suelen incorporar programas internos para almacenamiento de datos, replanteos, superficies, etc., y constan con sistemas para transferir de forma semiautomática los datos almacenados a un ordenador. (Peña, 2005).

La estación topográfica (Figura 1) puede medir distancias con exactitud y rapidez, conectarse a un recolector automático de datos, efectuar cálculos con las mediciones de ángulos y distancias y exhibir los resultados en tiempo real. Éstas y muchas otras ventajas significativas han hecho de las estaciones totales los instrumentos predominantes que se usan en la práctica topográfica actualmente (Wolf, 2016).

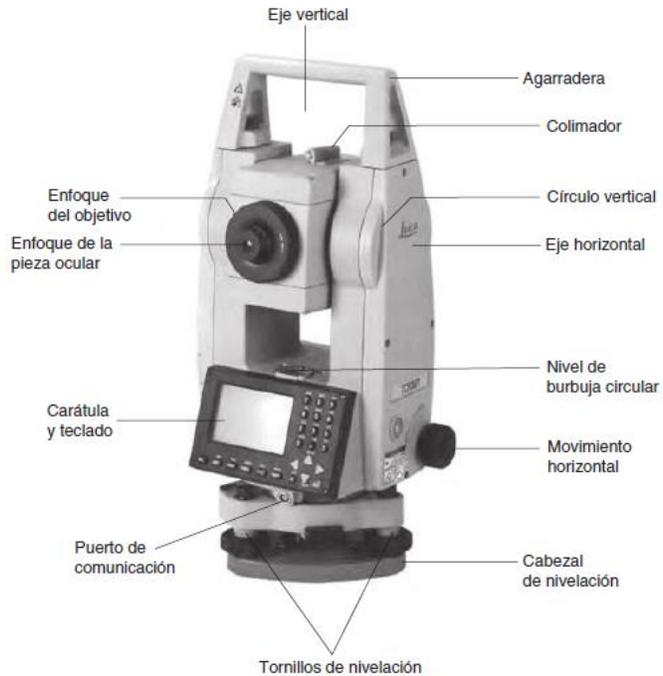


Figura 1. Partes de un instrumento de estación total. (Fuente: Wolf, 2016).

Las metodologías aplicadas para la medición con estación total son las de poligonación y radiación. En este trabajo se utilizará el método de poligonación.

Las poligonales son una serie de líneas consecutivas donde sus extremos son marcados en terreno, así como sus longitudes y direcciones. En los levantamientos tradicionales, la poligonal, es uno de los procedimientos fundamentales y más utilizados en la práctica para determinar la ubicación relativa entre puntos en el terreno. Existen dos tipos básicos de poligonales, la cerrada y la abierta, véase Figura 2.

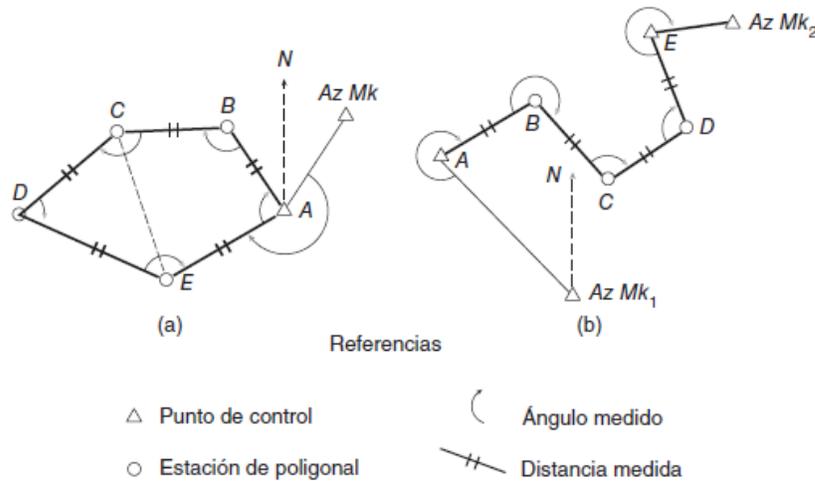


Figura 2. Ejemplos de poligonales cerradas. (Fuente: Wolf: 2016)

2.3. SISTEMAS SATELITALES DE NAVEGACIÓN GLOBAL (GNSS)

El término Sistema Satelital de Navegación Global (GNSS) es utilizado para referirse a los sistemas que ya están operando o están en planificación, como son GPS, GLONASS, Galileo y Beidou. Estos sistemas GNSS emiten señales que permiten el posicionamiento a usuarios con receptores en la superficie de la tierra. El concepto básico del posicionamiento GNSS es la medición simultánea de las distancias entre receptores y satélites. Hoy en día, el Sistema Global de Navegación por Satélite tiene un papel importante en el campo de la topografía o la cartografía, y en el caso de este trabajo para la rectificación de fotografías aéreas tomadas con un dron (Khomsim, 2020).

En la actualidad hay 4 constelaciones GNSS, los cuales se describen a continuación:

La constelación de satélites perteneciente a los Estados Unidos, es el denominado NAVSTAR GPS (Sistema de navegación con tiempo y rango: Sistema de posicionamiento global) desarrollado y mantenido por el Departamento de Defensa y el Departamento de Transporte de los EE. UU., y fue el primer sistema en estar en órbita (Lechner, 2000), GLONASS es el sistema de Rusia, Galileo es el sistema de posicionamiento satelital que implementará la Unión Europea, y Beidou de la nación China (Wolf, 2016).

El principio de funcionamiento de todos los GNSS, sea cual sea su origen, es el mismo. Los receptores GNSS se apoyan de un grupo de satélites, no geoestacionarios, que orbitan alrededor de la Tierra para obtener sus coordenadas. El cálculo de la posición depende básicamente de dos parámetros

que son la posición del satélite y el reloj del mismo. Dicha información es recogida en la señal enviada por el satélite hasta el receptor, siendo el proceso de cálculo el siguiente:

1. La situación de los satélites es conocida por el receptor con base en las efemérides.

2. El receptor GNSS mide su distancia de los satélites, ya sea mediante código y/o fase (El-naggar, 2011), y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar desde el satélite al receptor. Conocido ese tiempo y la velocidad de viaje de la señal, el receptor GNSS puede calcular su posición (Lechner, 2000).

3. Son necesarios al menos cuatro satélites para obtener la posición, con tres satélites somos capaces de calcular la posición en tres dimensiones (longitud, latitud y altitud), mientras que el cuarto nos permite eliminar los errores de sincronismo (tiempo) entre el satélite y receptor. (Khomsin, 2020)

Como se muestra en la Figura 3, los sistemas satelitales de navegación global tienen una estructura definida, la cual que se divide en tres segmentos: segmento espacial, segmento de control y segmento de usuarios.

El segmento espacial es el conjunto de satélites que conforman el sistema. Estos satélites viajan en orbitas casi circulares a una altura y periodo orbital determinado (Wolf, 2016).

El segmento de control consiste en estaciones de monitoreo, las cuales monitorean las señales y rastrean las posiciones de los satélites a lo largo del tiempo. La estación terrestre de control es responsable de sincronizar el reloj atómico del satélite con el tiempo universal coordinado (UTC). Las estaciones terrestres de la red también monitorean el desempeño, la salud de los satélites y ajustan sus órbitas cuando es necesario (Zidan, 2020).

El segmento del usuario consiste en los equipos receptores, los cuales son instrumentos utilizados para calcular las coordenadas de un punto, hacer navegación o adquirir tiempo con precisión de oscilador atómico, recibiendo las señales radiodifundidas provenientes de los satélites (Berné, 2014).

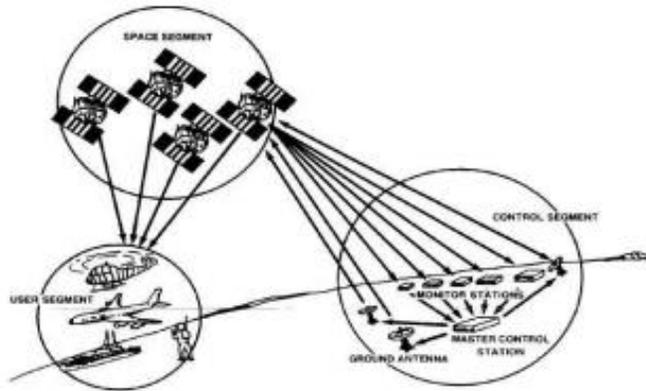


Figura 3. Segmentos GNSS. (Fuente: Guard, 1996).

Los métodos de observación con GNSS son variados, dependiendo del tipo de precisión que se desea lograr, el método utilizado puede ser absoluto o relativo; según el tipo de observable puede ser mediante códigos y/o fase; según el movimiento del receptor GNSS puede ser, estático o cinemático; y según el momento en el cual se efectúa el cálculo de las coordenadas puede ser, post-proceso o en tiempo real.

Según la precisión que se desee alcanzar, ya sea milimétrica o métrica, existen dos modos de posicionamiento, los cuales dependen de la cantidad de receptores a utilizar, ya sea, un receptor navegador u dos o más receptores GNSS.

El posicionamiento absoluto se relaciona con un solo receptor, y llega a una precisión métrica. Es uno de los posicionamientos más utilizados, ya sea para ubicar o llegar a un lugar específico con un receptor de tipo navegador.

El posicionamiento relativo o diferencial (Figura 4), se caracteriza por obtener coordenadas con precisiones de orden milimétrico o centimétrico, lo cual variará según la combinación de método, y tipo de receptor GNSS que se elija. (Bérne, 2014).

El objetivo de este tipo de posicionamiento es obtener las coordenadas de un punto B en relación a otro punto A de coordenadas conocidas, lo cual puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$X_B = X_A + \Delta X$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y$$

$$Z_B = Z_A + \Delta Z$$

Donde (X_A, Y_A, Z_A) son las coordenadas geocéntricas del punto A, (X_B, Y_B, Z_B) , y son las coordenadas geocéntricas del punto B. Por otra parte, $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ son las componentes de vector del vector definido entre los puntos A y B, que es denominado línea base calculada.

Para este tipo de posicionamiento se necesitan como mínimo dos receptores observando simultáneamente en la misma época, es decir, el registro de datos se realiza a un mismo instante e intervalo de tiempo definidos previo a la medición.

Una ventaja de este método es que, pueden producirse diferentes combinaciones lineales de las ecuaciones, con lo cual en el proceso pueden eliminarse algunos errores que afectan la precisión obtenida de las coordenadas. (Wolf, 2016).

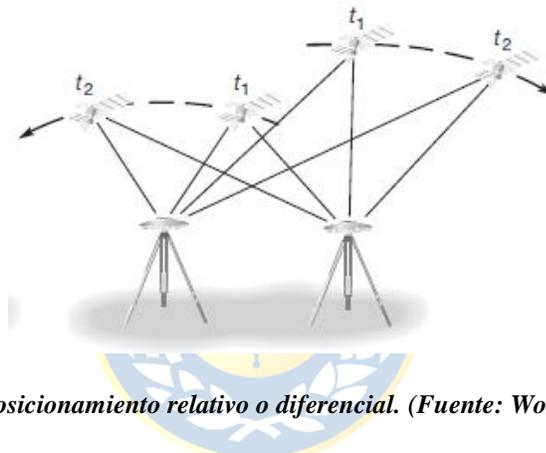


Figura 4. Posicionamiento relativo o diferencial. (Fuente: Wolf, 2016).

El posicionamiento según el tipo de observable, se basa en el método que se utiliza para calcular las distancias desde los satélites a los receptores, donde las señales emitidas por los satélites poseen la información necesaria para su cálculo. Los receptores emplean dos métodos fundamentales de cálculo, uno de medición de distancia por código y otro por desviación de fase portadora.

El método de código o pseudodistancia, se basa en correlacionar la señal entrante del satélite con una señal idéntica generada por el receptor (Figura 5), obteniendo así el desfase de la señal, lo cual es debido al tiempo de viaje. Con este tiempo de viaje, y conocida la velocidad a la que viajan las ondas electromagnéticas de la señal, puede calcularse la distancia desde el punto donde se encuentra el receptor hasta el satélite. (Wolf, 2016)

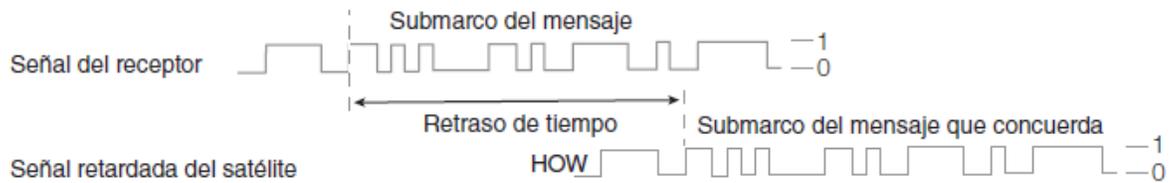


Figura 5. Determinación del tiempo de viaje de la señal por concordancia de códigos. (Fuente: Wolf, 2016)

El método de fase u onda portadora posee un cálculo más exacto que el método por código para la determinación de la distancia, en este caso se observa la desviación de fase de la señal portadora transmitida desde el satélite al receptor, es decir, midiendo la parte entera N de las longitudes de onda (ambigüedades) y la parte fraccionaria de la fase ϕ (Figura 6) (Wolf, 2016).

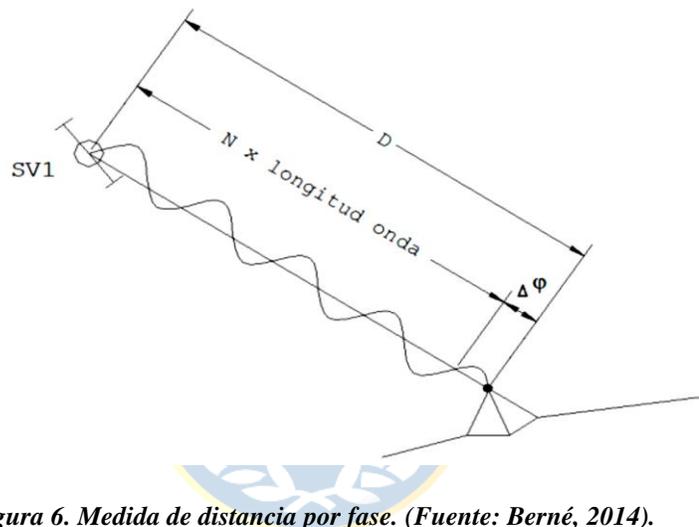


Figura 6. Medida de distancia por fase. (Fuente: Berné, 2014).

Las mediciones con sistemas GNSS, están afectadas por varios tipos de errores. Los errores más destacables son, el error en los parámetros orbitales de los satélites, errores en los relojes de los satélites, errores relativistas.

Por otro lado, están los errores debidos a que las ondas electromagnéticas de las señales, en el recorrido desde el satélite al receptor sufren alteraciones asociados al medio que atraviesan, y son conocidos como errores atmosféricos. Estos errores son, el error ionosférico y el error troposférico.

Por último, otro tipo de errores que hay que considerar, es el denominado error de multitrayecto que es debido a múltiples reflexiones de la señal emitida desde los satélites en objetos (Figura 7), antes de llegar al receptor, dando lugar a que lleguen además de la señal directa, otras señales con mayor recorrido final, que introducen el error. Los objetos típicamente generadores de este error son los

edificios, árboles o superficies de agua, entre otros, por lo que las mediciones con los receptores deben realizarse lo más alejado posible de este tipo de objetos (Berné, 2014).

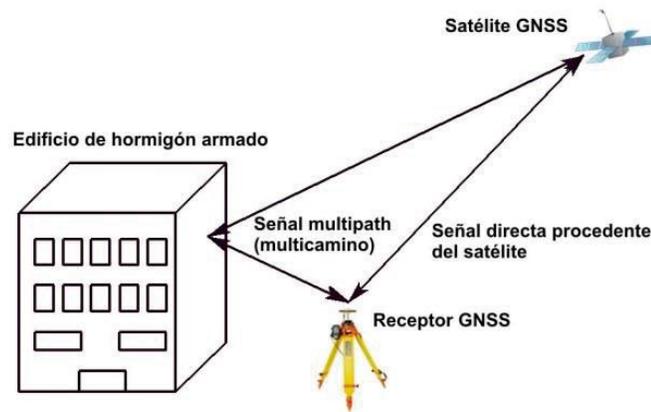


Figura 7. Ilustración error de multitrayectoria. (Fuente: Berné, 2014).

2.4. FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría se define como la ciencia, el arte y la tecnología para obtener información confiable a partir de fotografías (Wolf, 2016), o la ciencia de medir en fotos (Linder, 2009).

Para comprender de mejor manera la ciencia de la fotogrametría, se deben conocer los conceptos de visión estereoscópica y escala fotográfica que se presentan a continuación:

La visión estereoscópica, se basa en el principio de la visión humana, donde al observar un objeto, los ojos registran dos imágenes bidimensionales distintas (Figura 8), generando el cerebro una imagen tridimensional (modelo estereoscópico). Este principio es importante para la fotogrametría puesto que permite percibir los relieves y las distancias de los objetos presentes en las imágenes (Hernández, 2006).

La siguiente ecuación permite obtener la escala de una fotografía:

$$E = \frac{1}{e} = \frac{f}{H} = \frac{l}{L}$$

Donde:

e es el denominador de la escala del fotograma.

f es la focal de la cámara en centésimas de mm.

H es la altura de vuelo.

l es la longitud del fotograma.

s es la superficie del fotograma (l*l)

S es la superficie cubierta por el fotograma en el terreno (L*L).

En la evolución histórica de la fotogrametría se pueden distinguir tres fases directamente relacionadas con las técnicas empleadas, la analógica, la analítica y la digital (Figura 10) (Hernández, 2006).

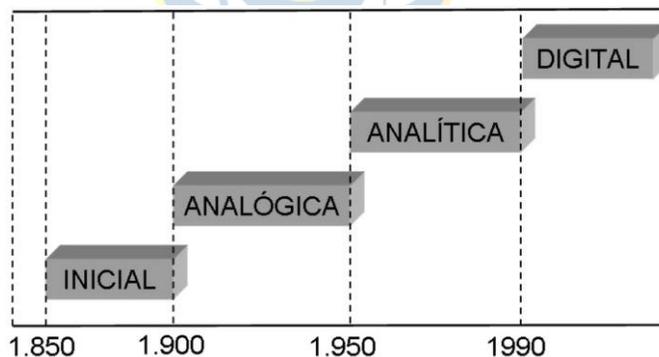


Figura 10. Evolución histórica de la fotogrametría. (Fuente: Hernández, 2006)

En la Tabla 1 se muestran las principales diferencias entre las tres etapas de desarrollo de la fotogrametría.

Tabla 1. Evolución de la fotogrametría. (Fuente: Hernández, 2006).

FASES	PRINCIPALES DIFERENCIAS
ANALÓGICA	El paso del modelo estereoscópico al plano se basa en la utilización de métodos mecánicos. El modelo estereoscópico se basa en el empleo de componentes ópticos, al igual que en analítica.
ANALÍTICA	Cálculos y restitución en tiempo real. El problema de intersección de haces es solventado mediante modelos matemáticos. Se mide en la foto analógica mediante un método mecánico y se soluciona matemáticamente mediante el empleo del ordenador. Eliminación de restricciones físicas. Incorporación de correcciones de errores sistemáticos en los modelos matemáticos empleados mediante el cálculo. Simplificación de los restituidores. Obtención de productos digitales. Asistencia del operador gracias al empleo de los ordenadores.
DIGITAL	Fotogramas manipulables digitalmente. Desaparición de la componente óptico-mecánica. Automatización de determinadas fases del proceso. Medición automática sin operador humano, mediante el empleo de técnicas de correlación. Posibilidad de obtener productos digitales de gran calidad y coste reducido. Principal problema: tamaño de las imágenes con las que se trabaja. Almacenamiento y algoritmos de comprensión sin pérdida de calidad geométrica y radiométrica.

Hoy en día con el desarrollo de la tecnología digital y la informática, la técnica de la fotogrametría digital mediante drones es una herramienta innovadora, aplicada en campos como la topografía, la arqueología, la cartografía, la ingeniería, la agricultura y la minería, entre otros.

La fotogrametría digital es una técnica que permite obtener información tridimensional digital de objetos o áreas, desde modelos 3D, mapas de elevación y ortofotos de alta resolución generados a partir de fotografías tomadas desde diferentes ángulos, lo que puede ser muy útil para la planificación de proyectos. (Linder, 2009)

Para llevar a cabo un levantamiento fotogramétrico, primero se debe contar con puntos de control fotográfico terrestre con posicionamiento conocido, estos se marcan con señales artificiales previamente a las tomas fotográficas para que se identifiquen con facilidad en las fotos (Wolf, 2016).

El vuelo debe realizarse con un trayecto en pasadas paralelas, con un traslape o solapamiento longitudinal y transversal entre cada fotografía (Figura 11).

Cabe destacar que el mínimo solapamiento longitudinal es de un 60% entre cada fotografía, para conseguir visión estereoscópica (Peña, 2011).

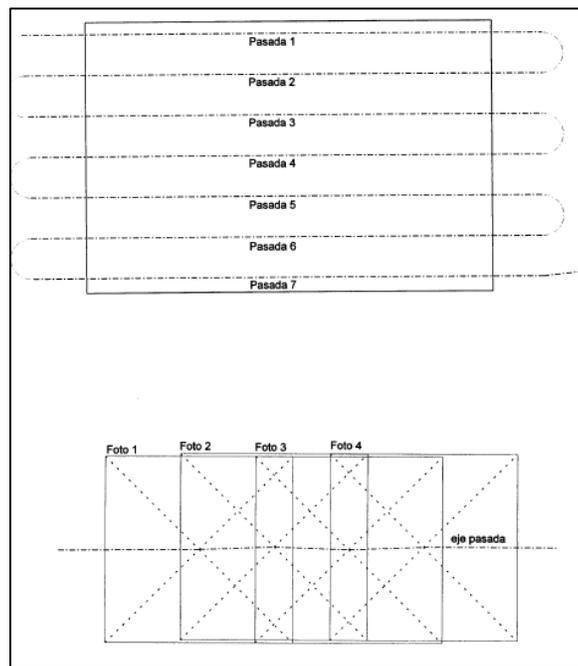


Figura 11. Pasadas paralelas y solapamiento entre fotogramas en un vuelo fotogramétrico. (Fuente: Peña, 2011).

Dependiendo de la inclinación de la cámara al momento de realizar las fotografías, los vuelos pueden ser de tres tipos (Figura 12):

1. Vuelo Nadiral: La prolongación de la focal (f) es totalmente vertical ($\alpha = 0$).
2. Vuelo vertical: La prolongación de la focal (f) y la vertical difieren en menos de 3° .
3. Vuelo inclinado: La prolongación de la focal (f) difiere con la vertical en más de 3° .

El punto Nadiral (N) corresponde al punto donde la prolongación de la focal corta al terreno.

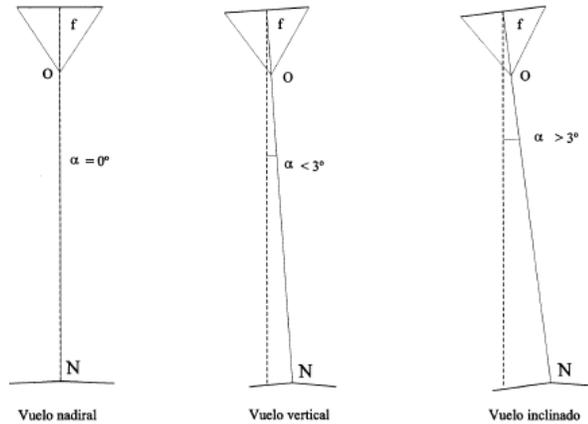


Figura 12. Tipos de vuelos. (Fuente: Peña, 2011).

Para el procesamiento de fotografías digitales, se utilizan herramientas informáticas para la generación de modelos 3D y ortofotos georreferenciadas.

En la Figura 13 se muestra el procesamiento de datos que realiza la herramienta PIX4Dmapper, donde, en primer lugar se ingresan las fotografías originales aéreas georreferenciadas tomadas del terreno, se extraen los puntos claves (puntos con coordenadas conocidas calculadas por el sistema GPS del dron), se realiza la comparación entre imágenes de los puntos claves que comparten, y luego estos puntos se corrigen geoméricamente mediante la triangulación aérea automática (AAT) con la información de los puntos de control terrestre. Cuando se completa la corrección geométrica, se realiza el amarre de puntos, donde los puntos compartidos entre imágenes se igualan automáticamente, lo que implica la densificación de puntos para generar un modelo 3D y/u ortofotos.

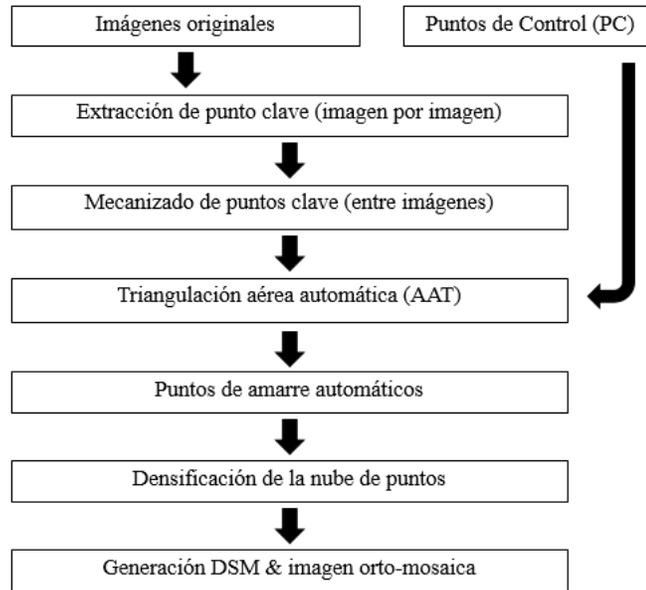


Figura 13. Diagrama de flujo del procesamiento de datos del software Pix4D Mapper pro. (Fuente: modificado de Lee, 2015a).

La ortofoto es una imagen aérea corregida geoméricamente para eliminar las distorsiones de perspectiva y la inclinación del terreno. Se utiliza como base para la cartografía y la planificación urbana, así como para la identificación y el análisis de características del terreno. La precisión de las ortofotos depende de la calidad, la resolución de las imágenes originales y del proceso de corrección geométrica. (Wolf, 2016)

2.5. DRONES O VEHÍCULOS AEREOS NO TRIPULADOS

Según la Organización de Aviación Civil Internacional (2011), “*El dron es una aeronave operada sin un piloto humano a bordo*”.

Los drones tuvieron su origen en la segunda guerra mundial, y fueron utilizados inicialmente como sistema de espionaje (Cuerno, 2016).

Actualmente estos VANT se utilizan en fotogrametría y sustituyen las funciones que tradicionalmente cumplía un avión que portaba la cámara y permitía realizar vuelos de grandes extensiones de terreno en poco tiempo, con niveles de precisión óptimos y a un costo mucho menor que con un avión.

2.5.1. TIPOS DE DRONES

Los VANT se clasifican en dos grandes categorías VANT de ala fija y VANT de ala rotatoria (Cuerno, 2016).

El VANT de ala rotatoria es similar a un helicóptero, y vuela debido a la fuerza de sustentación que producen las hélices al rotar a alta velocidad (Figura 14). La ventaja es que puede despegar y aterrizar verticalmente en lugares pequeños, así como también puede realizar un vuelo estacionario y capturar imágenes tanto verticales como inclinadas cambiando su dirección. Sin embargo, es difícil que un VANT con alas giratorias vuele durante mucho tiempo porque tiene una baja eficiencia energética, ya que debe vencer el peso de la aeronave. Por lo tanto, un VANT de ala giratoria es adecuado cuando se dispone de áreas pequeñas para el despegue y aterrizaje (Lee, 2016).



Figura 14. VANT de ala rotatoria, DJI Phantom 4 Pro. (Fuente: Mantey, 2021).

El VANT de ala fija se caracteriza por ser similar en su forma a un avión de pasajeros o un avión de combate (Figura 15). Este VANT puede volar durante más tiempo debido a su bajo consumo de energético, ya que su motor solo debe vencer el arrastre aerodinámico. Sin embargo, la desventaja es que estos equipos requieren de un espacio amplio para despegar o aterrizar, ya que no pueden hacerlo verticalmente como el VANT de ala rotatoria. Además, un VANT con alas fijas no puede mantenerse estacionario en el aire. Por lo tanto, es difícil tomar una fotografía a baja altura y en un ángulo inclinado, y está significativamente influenciado por el viento durante el despegue y aterrizaje. Un VANT de ala fija es adecuado para áreas extensas, menos influenciadas por el viento, para vuelos largos, para una gran altitud y para estudios que requieren disparos verticales. (Lee, 2016)



Figura 15. VANT de ala fija. (Fuente: Shahmoradi, 2020)

2.5.2. NORMATIVA PARA EL USO DE DRONES EN CHILE

La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de Chile, permite el vuelo de Vehículo Aéreos No Tripulados (VANT) o aeronaves pilotadas a distancia (RPA), que realicen servicios de interés público. La DGAC ha regulado desde 2015 (DGAC, 2020) las operaciones en el espacio aéreo chileno, para que se desarrollen de forma segura mediante la Norma Aeronáutica DAN 151: Operaciones de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) en asuntos de interés público, que se efectúen sobre áreas pobladas. Esta fue la primera normativa en Chile que se refiere solo a los VANT, siendo su última modificación en el año 2020.

Para registrar un RPA se deberá, rellenar la solicitud de registro del RPA, realizar el pago de la tasa aeronáutica, y la certificación de peso de la aeronave. Solo una vez recibida, la solicitud, la factura, y la acreditación del peso de fábrica, se emitirá el comprobante de registro, el cual será enviado al correo electrónico declarado en la solicitud de registro dentro del plazo más breve posible.

A continuación, se describen las disposiciones de la norma (DGAC, 2020) que se aplican sin perjuicio a toda persona natural o jurídica que realice o pretenda realizar operaciones con un RPA sobre áreas pobladas en asunto de interés público.

1. REQUISITOS TÉCNICOS DEL RPA

(a) El peso máximo de despegue del RPA debe ser de hasta nueve (9) kilos incluyendo accesorios, pero sin considerar el peso del paracaídas de emergencia.

(b) El RPA debe haber sido construido o armado desde un kit de fábrica y contar con instructivos técnicos, de operación.

(c) El RPA debe contar con el N° de serie del fabricante o en caso de no contar con este N°, el propietario deberá grabar en el RPA el N° de registro otorgado por la DGAC.

(d) El RPA debe contar con paracaídas de emergencia durante su operación.

(e) El RPA debe tener la capacidad de ser controlado manualmente.

2. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Toda persona que se encuentre operando un RPA de acuerdo con esta norma, deberá portar:

(1) La tarjeta de registro del RPA.

(2) La credencial de piloto a distancia de RPA.

(3) La autorización de operación de RPA otorgada por la DGAC.

El tiempo total de vuelo en una operación de un RPA, no podrá exceder el 80% de la máxima autonomía que le permita la carga eléctrica del RPA, no pudiendo durar el vuelo más de 60 minutos.

El piloto a distancia no puede efectuar operaciones a una distancia mayor de 500 metros en una pendiente visual y a una altura no superior a 400 pies (130 m) sobre la superficie en que se opere en condición de Operación Más allá de la Visibilidad Directa Visual (BVLOS) o, a una distancia de 5 kilómetros y a una altura no superior a los 1200 pies (365 m) en condición de Operación con Visibilidad Directa Visual (VLOS), para lo cual el piloto a distancia deberá contar con un sistema que le entregue información certera de la posición geográfica y de altitud de la aeronave.

3. LIMITACIONES DE LAS OPERACIONES

Prohibido volar sobre instalaciones militares, unidades de flota y bases aéreas de las Fuerzas Armadas, tanto del Ejército, la Marina y la Fuerza Aérea de Chile, así también para instalaciones carcelarias e instalaciones estratégicas definidas por el Estado de Chile. Esto será posible si se cuenta con una autorización previa de la institución correspondiente y la aprobación de la autoridad aeronáutica, que será notificada a través de un NOTAM¹.

¹ NOTAM (Notice To Airmen) Aviso distribuido por medio de telecomunicaciones que contiene información relativa al establecimiento, condición o modificación de cualquier instalación aeronáutica, servicio, procedimiento o peligro, cuyo conocimiento oportuno es esencial para el personal encargado de las operaciones de vuelo.

Vuelos BVLOS quedan limitados para uso exclusivo de las instituciones que realicen operaciones de servicio público en coordinación con el Ministerio de Defensa Nacional y del Ministerio del Interior y sus respectivas Subsecretarías.



3. APLICACIONES DE FOTOGRAMETRÍA MEDIANTE DRONES EN MINERÍA

Los usos de la fotogrametría con drones en minería son variados, a continuación, se señalan algunos ejemplos de sus usos más comunes en diferentes áreas.

3.1. MONITOREO EN LOS CAMINOS DE ACARREO

Medinac (2020) en su estudio titulado “*Haul road monitoring in open pit mines using unmanned aerial vehicles A case study at Bald Mountain Mine*” presenta los VANT aplicados a una zona crítica del camino de acarreo de una mina a cielo abierto (Bald Mountain), donde mediante ortofotos y modelos digitales de elevación de alta resolución, evalúa la condición de suavidad de la carretera y verifica el cumplimiento del diseño de esta. Además, el mapeo aéreo le permitió la detección de aguas superficiales, derrames de rocas y baches que el equipo de mantenimiento puede reparar rápidamente.

Benevenuti (2021), realizó un estudio basado en la creación de un modelo tridimensional, creado mediante fotogrametría de VANT, para detectar anomalías de encharcamiento y flujo de aguas inadecuado en caminos de acarreo en minas a cielo abierto de forma rápida y precisa después de las lluvias, para así anticipar la ocurrencia de tales irregularidades antes de que se conviertan en un problema mayor, regularizando el mantenimiento de los caminos.

3.2. CÁLCULO DE VOLUMENES DE MATERIAL

Cohelo (2019) realizó el trabajo de calcular el volumen de pilas de mineral, medido por topografía mediante estación total comparado con fotogrametría, obteniendo un error mínimo aceptable.

Molnar (2017) en su estudio denominado “*Tracking Production Volumes of Open-Pit Mines with Photogrammetry*”, realiza el cálculo de volúmenes de producción mediante teledetección con dron en minas a cielo abierto para así tener un control del estado de avance, ya que este método permite levantamientos económicos y rápidamente reproducibles, generando modelos 3D en los cuales pudo analizar los cambios de volúmenes a medida que transcurre el proceso de extracción, determinando así también la producción anual.

Mantey (2021) aplicó la tecnología de los VANT para estimar los volúmenes de 4 acopios de una mina a cielo abierto. Recopiló datos GPS para realizar la comparación con los obtenidos por el VANT. Concluyendo que el equipo GPS entregaba precisiones moderadas para el cálculo, pero demandaba mucho tiempo y trabajo en contraste a los VANT, siendo estos resultados más precisos, seguros y con capacidad de abarcar grandes áreas rápidamente.

Finalmente, Cryderman (2014) realizó un estudio aplicado al cálculo volumétrico de pilas de almacenamiento, comparando datos obtenidos con receptores GNSS convencionales y los obtenidos mediante fotogrametría con dron, donde los resultados coincidieron con los tomados con los receptores GNSS.

3.3. ANALISIS DE GRIETAS Y ESTABILIDAD

McLeod (2013), en su estudio *“Using video acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) to measure fracture orientation in an open-pit mine”* utilizó un equipo VANT, para realizar la toma de imágenes en 3D con las cuales se pudo medir con éxito las orientaciones de las fracturas de las paredes rocosas de una mina a cielo abierto.

Yousefi (2019), desarrolló un método para detectar la caída de rocas de una pared rocosa en una mina a cielo abierto, mediante fotogrametría y escaneo laser, donde se calcularon las intersecciones de las fracturas con ayuda de la nube densa de puntos después del post-proceso en gabinete, para así obtener los desprendimientos más probables. En donde concluyó que la nube de puntos tiene algunas ventajas sobre los métodos convencionales basados en imágenes; especialmente en el caso de probables caídas de rocas, que pueden ser difíciles de detectar usando las imágenes de rocas. Sin embargo, el análisis de datos de nubes de puntos suele ser complicado y computacionalmente costoso.

Winkelmaier (2020), en su estudio titulado *“Topographically guided UAV for identifying tension cracks using image-based analytics in Open-Pit mines”*, mediante el uso de drones, busca detectar y monitorear grietas de tensión para así predecir fallas de taludes y garantizar la seguridad de la mina, mediante una plataforma automatizada y novedosa para generar informes de rutina. En donde pudo concluir, que mediante la utilización de VANT se produjeron mejores perfiles de las grietas.

Xiang (2018), en su trabajo titulado *“Mini-UAV-based Remote Sensing Techniques, Applications and Prospectives”*, hace mención a las aplicaciones de los drones en diferentes industrias, nombrando algunas realizadas en minería: monitoreo de humedad superficial con cámaras

hiperespectrales, mapeo de pendientes y del entorno geológico estructural detallado, identificación de zonas potencialmente inestables para evaluar las condiciones de seguridad, mitigación de las emisiones de polvo de los relaves, monitoreando y controlando la humedad.

3.4. PERFORACIÓN Y TRONADURA

Bamford (2017), en su estudio denominado *“A real-time analysis of post-blast rock fragmentation using UAV technology”*, presenta mediciones de fragmentación post tronadura a escala de laboratorio utilizando un VANT, concluyendo que los VANT en comparación a los métodos convencionales manuales, pueden proporcionar resultados de gran precisión y una adquisición de datos rápida y frecuente, lo que aumenta la confiabilidad estadística de las mediciones y reduce el error de muestreo.

Bamford (2017), en otro estudio titulado *“Aerial rock fragmentation analysis in low-light condition using uav technology”*, realizó levantamientos fotogramétricos (VANT multi-rotor) con iluminación artificial para la medición de la fragmentación de rocas en condiciones de poca iluminación, representando turnos nocturnos en minas a cielo abierto o condiciones de trabajo en minas subterráneas. Concluyendo que, las distribuciones de las fragmentaciones presentan una precisión similar a los levantamientos obtenidos con luz natural.

Finalmente, Alvarado (2015) en su estudio *“Towards the development of a low cost airborne sensing system to monitor dust particles after blasting at open-pit mine sites”* busca caracterizar de mejor manera las columnas de explosión, haciendo uso un sensor de polvo en un dron, para así determinar concentraciones de gases que están presentes en la detonación, haciendo la detección más localizada que en los casos de sensores fijos en áreas de la mina. Demostrando mediante pruebas de laboratorio y de campo la viabilidad de este tipo de sensores a los VANT.

Existen muchos estudios que demuestran las diversas aplicaciones de los VANT en minería, por lo cual se hace relevante comprender las ventajas y desventajas del uso de estos equipos en cuanto a precisión, tiempo requerido para la toma de datos, entre otros aspectos.

3.5. MAPEO Y TOPOGRAFÍA

Behrman (2019), en su estudio titulado “*Drone Geologic Mapping of an Active Sand and Gravel Quarry*”, realiza varios modelos tridimensionales de una cantera de arena y grava en el río Mississippi, para así ilustrar su progreso y estudiar su geología. Demostró que la fotogrametría con drones es un medio rápido, de bajo costo, seguro para estudiar lugares de la mina de difícil acceso.

Por otro lado, Lee (2015 a) realizó un levantamiento topográfico de una mina a cielo abierto de pequeña escala de piedra caliza en Corea, utilizando un VANT de alas giratorias (DJI Phantom2 Vision+), generando en el post-procesamiento una imagen orto-mosaica y un modelo digital de superficie. Su estudio se basó en comparar las coordenadas de 5 puntos de control (GCP) medidos por sistema de posicionamiento global diferencial y los determinados por fotogrametría con dron, concluyendo que esta nueva tecnología puede complementar o reemplazar los equipos topográficos existentes.

El mismo año, Lee (2015b) realizó un levantamiento topográfico para una mina a cielo abierto de gran escala de piedra caliza en Corea, utilizando un dron de ala fija (SenseFly eBee), generando así una imagen ortomosaica y un modelo digital de superficie, cuya la finalidad era comparar 4 puntos de control medidos por sistema de posicionamiento global diferencial y las determinadas por fotogrametría mediante el VANT. Donde concluyo que los errores cuadráticos medios obtenidos por fotogrametría con el VANT de ala fija eran de 15 cm.

Cabe destacar, que estos estudios comparativos de precisión motivaron el trabajo realizado en la presente memoria de título.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Este capítulo tiene como finalidad dar a conocer la metodología utilizada para el desarrollo de esta memoria, partiendo por la descripción de emplazamiento de la zona de estudio, los equipos utilizados, el procedimiento del levantamiento GNSS de datos, levantamiento topográfico en terreno, el vuelo fotogramétrico realizado con el dron y el procesamiento de datos.

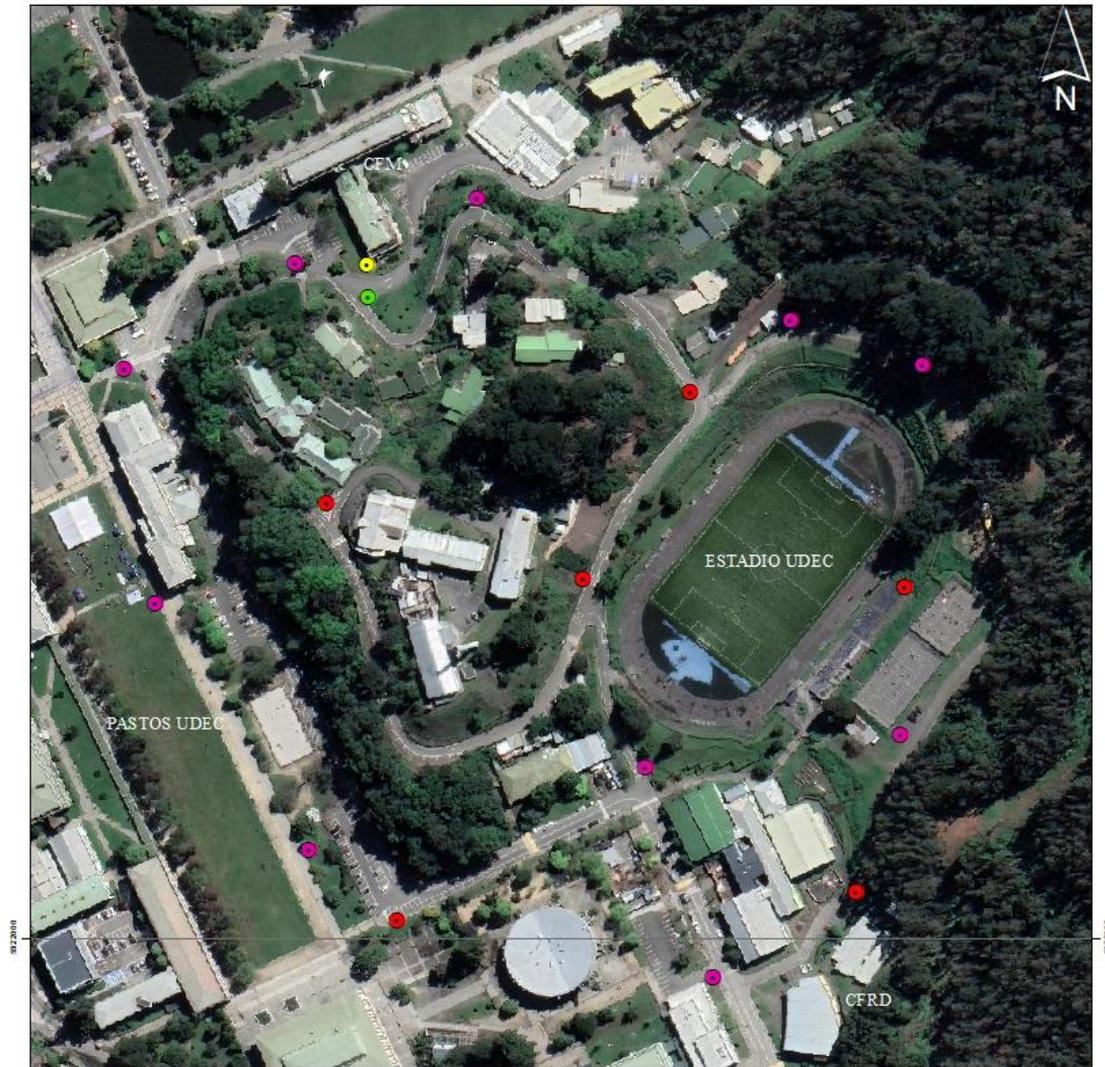
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y PUNTOS

El estudio se ha llevado a cabo en el campus central de la Universidad de Concepción, cubriendo la superficie que va desde la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (CFM), pasando por en el camino que rodea el estadio de la presente universidad, bordeando el Centro de Formación y Recursos Didácticos (CFRD) y la calle paralela a los pastos centrales, hasta volver al punto de partida.

En este emplazamiento, se definieron y materializaron con señalización en el terreno cuatro tipos de puntos: un punto de referencia, seis puntos de control, diez puntos de análisis, y un punto de visado, los cuales se describen a continuación:

- **Punto de referencia (PR):** se refiere al punto base para el posicionamiento GNSS de los puntos de control, análisis y visado.
- **Puntos de control (PC):** puntos destinados para mejorar la precisión del levantamiento fotogramétrico.
- **Puntos de análisis (PA):** puntos destinados para el análisis de precisión de los métodos fotogramétrico y topográfico.
- **Punto Visado (PV):** punto necesario para visar y orientar la Estación Total.

La Figura 16 muestra la visualización del emplazamiento y la ubicación de los distintos tipos de puntos utilizados descritos anteriormente.



Leyenda

- PA
- PC
- PR
- PV

50 25 0 50 Meters

 UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN		
<small>"ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRECISIÓN ENTRE LA FOTOGRAMETRÍA MEDIANTE VEHÍCULOS AEREOS NO TRIPULADOS (VANT) Y LA TOPOGRAFÍA CLÁSICA CON ESTACIÓN TOTAL EN MINERÍA A CIELO ABIERTO"</small>		
Región: Bio Bio	Provincia: Concepción	Comuna: Concepción
Nombre: Fabían Antonio Ojeda Molina		
21-04-2023		
WGS84 18S	1 : 2500	

Figura 16. Cartografía de emplazamiento de la zona de estudio. (Elaboración propia)

En un principio se realizó el reconocimiento de la zona mediante Google Earth, con el propósito de obtener una vista general del área, y la ubicación preliminar aproximada de todos los puntos, en especial para asegurar un espaciamiento equidistante entre los PC. Posteriormente, se

realizó un recorrido pedestre de reconocimiento del área, donde se determinó la ubicación estratégica de todos los puntos, garantizando la inamovilidad, la instalación de equipos (Figura 17), y la visual aérea con las dianas.

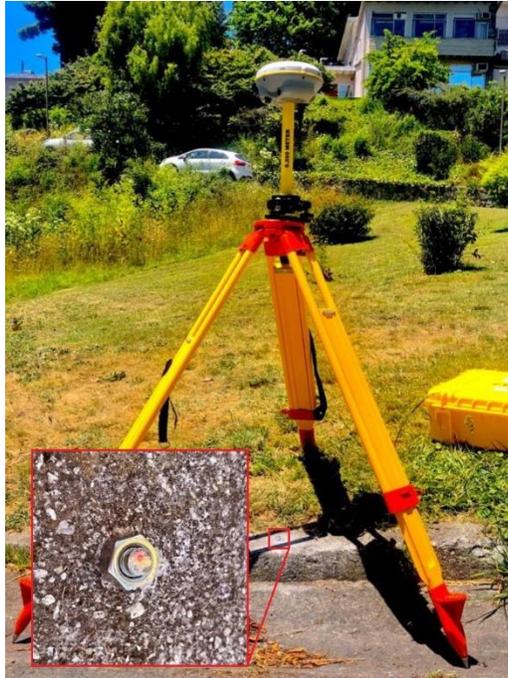


Figura 17. Visualización punto en terreno.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

En esta sección se presentan los instrumentos de medición tanto para fotogrametría, topografía clásica y posicionamiento GNSS para los puntos de referencia, control y análisis.

4.2.1. SISTEMA GNSS Trimble R8s

El sistema GNSS utilizado para realizar los posicionamientos de los puntos fue el equipo Trimble R8s (Figura 18), el cual cumple con los estándares de precisión milimétrica necesarios para el presente trabajo de memoria.

Trimble R8s es un receptor de doble frecuencia, el cual es capaz de configurarse para post-procesamiento y RTK, así como también, levantamiento estático línea-base, o una combinación de funciones de receptor base - móvil. Además, es compatible con todas las constelaciones de satélite disponibles (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou y QZSS) permitiéndole expandir su alcance a zonas inaccesibles a causa de vegetación u otros obstáculos, todo gracias a su configuración avanzada para aprovechar señales de satélites adicionales. (Expediente técnico receptor GNSS Trimble R8s)



Figura 18. Sistema GNSS Trimble R8s.

4.2.2. ESTACIÓN TOTAL South N6.

El instrumento topográfico para este estudio es la estación topográfica South N6 (Figura 19). Se trata de un equipo compacto que tiene los elementos precisos para evaluar los ángulos horizontales, verticales, y sus respectivas distancias. Es capaz de almacenar datos, tanto en una unidad de memoria interna como en un registrador exterior acoplable. Cabe señalar, que este instrumento es capaz de medir distancias de hasta 800 metros sin prisma, lo que le hace suficiente para el caso que se plantea. (Expediente técnico estación topográfica South N6).



Figura 19. Estación Total South N6.

4.2.3. DRON: PHANTOM 4 PRO

Para este estudio de memoria se utilizó el dron Phantom 4pro (Figura 20), fabricado por la empresa DJI. El DJI Phantom 4 Pro es un dron de alta gama equipado con una cámara capaz de capturar y guardar una fotografía de 20 Mpixel cada 3 segundos, además posee un Gimbal que asegura la posición vertical de la cámara durante el vuelo. Tiene una autonomía de vuelo de aproximadamente 28 minutos y una velocidad máxima de 72 km/h. El dron cuenta con una gran cantidad de sensores y tecnología de evitación de obstáculos para garantizar un vuelo seguro y estable. (Manual de usuario Phantom 4 Pro/Pro⁺)



Figura 20. Dron DJI Phantom 4 Pro.

4.3. TOMA Y PROCESAMIENTO DE DATOS

A continuación, se describe el procedimiento realizado en el levantamiento GNSS de los puntos señalados anteriormente (PR, PC, PV y PA). También, se describen los procedimientos por separado para la determinación de los PA tanto por fotogrametría con dron, como topografía clásica con ET.

4.3.1. POSICIONAMIENTO GNSS DE PUNTOS

Este levantamiento GNSS se realizó en dos etapas que constan de un trabajo en terreno con el equipo GNSS Trimble R8s para el levantamiento de datos crudos los cuales contienen las coordenadas geográficas no ajustadas de todos los puntos, y un trabajo en gabinete donde se realizó el post-procesamiento de estos datos para la obtención de las coordenadas ajustadas en la herramienta informática Trimble Business Center (TBC).

En terreno, se realizó el montaje de los receptores y se configuró la colectora del equipo GNSS (Figura 21) el estilo de levantamiento estático rápido (FastStatic) entre ambos receptores.



Figura 21. Montaje equipo GNSS base y configuración Colectora.

El receptor base se configuró para almacenar datos con un intervalo de registro de 5 segundos, rastreo de señales GPS y GLONAS, y con un tiempo mínimo de 20 minutos para la recepción de señales, lo cual corresponde al tiempo recomendado por el manual de carreteras de Chile (Ministerio de Obras Públicas, 2022), para un equipo GNSS de doble frecuencia y para una distancia línea-base-GNSS menor a 2 km (Tabla 2).

Tabla 2. Tiempos de medición GNSS de acuerdo con la frecuencia. (Fuente: Ministerio de Obras Públicas, 2022).

Rango Distancia (km)	L1	L1/L2
0-2	20 min	20 min
2-10	30 min	30 min
10-30	1 h	40 min
30-70	-	1 h
70-150	-	1.5 h
>150	-	2 h

El receptor móvil, se configuró con una altura de antena fija de 2 metros, montado en un jalón Trimble para la toma de los PC, PV y PA. Se seleccionó como dispositivo de almacenamiento la memoria interna del receptor, con un intervalo de registro de 5 segundos, y rastreo de señales GPS y GLONASS. También se designaron los tiempos mínimos de conexión a satélites, dependiendo de la cantidad disponible en órbita, en donde se designaron para 4, 5, 6 o más satélites, conexiones mínimas

de 20, 15 u 8 minutos respetivamente, configuraciones sugeridas por el manual del equipo GNSS que cumplen con los estándares deseados de precisión milimétrica. Cabe destacar que, en las mediciones de los puntos, el receptor móvil (Rover) se conectó siempre a más de 6 satélites, lo cual concluye a un tiempo estimado por punto de 8 minutos.

Una vez realizado el montaje y configuración del equipo GNSS, se procedió al levantamiento diferencial estático rápido con ambos receptores. El receptor base registró los datos del punto PR durante todo el tiempo de medición, mientras que el receptor móvil (Rover) fue registrando los demás puntos en terreno (PC, PV y PA).

Finalizado el levantamiento en terreno, se generaron y exportaron los archivos de datos crudos GNSS desde la colectora para su posterior tratamiento en gabinete. La Tabla 3 muestra los tiempos de registro de datos, altura de antena, estilo de levantamiento y número de satélites conectados para cada punto medido.

Tabla 3. Detalles de levantamiento de cada punto. (Fuente: Archivos de datos crudos receptores Trimble R8s).

ID	Duración	Altura antena	Modo topográfico	GPS	GLONASS
PR	3:19:05	1.328	Estático	11	13
PC1	0:08:05	2.000	Parar y seguir	6	5
PC2	0:08:05	2.000	Parar y seguir	7	7
PC3	0:08:15	2.000	Parar y seguir	7	7
PC4	0:08:00	2.000	Parar y seguir	6	5
PC5	0:08:05	2.000	Parar y seguir	7	5
PC6	0:08:05	2.000	Parar y seguir	7	5
PA1	0:08:15	2.000	Parar y seguir	6	5
PA2	0:08:05	2.000	Parar y seguir	6	5
PA3	0:08:05	2.000	Parar y seguir	6	5
PA4	0:08:20	2.000	Parar y seguir	7	6
PA5	0:08:20	2.000	Parar y seguir	7	7
PA6	0:08:20	2.000	Parar y seguir	7	7
PA7	0:08:40	2.000	Parar y seguir	8	7
PA8	0:08:20	2.000	Parar y seguir	7	7
PA9	0:08:20	2.000	Parar y seguir	6	5
PA10	0:08:00	2.000	Parar y seguir	7	7
PV	2:02:07	2.000	Estático	7	7

En gabinete, a través de una conexión telefónica de bluetooth entre el receptor base y la computadora, se accedió a la memoria interna del receptor por medio de la interfaz web de Trimble para convertir el archivo original de datos crudos GNSS de la base a un archivo RINEX². Este archivo RINEX se ingresó a la plataforma web Online Positioning User Service (OPUS)³, para obtener las coordenadas ajustadas de la base.

Teniendo los archivos originales de datos crudos GNSS de ambos receptores y las coordenadas geográficas ajustadas de la base (PR), se procedió al procesamiento de datos GNSS en la herramienta informática TBC obteniendo las correcciones para todos los puntos, puntos que se pueden visualizar en la Figura 22.

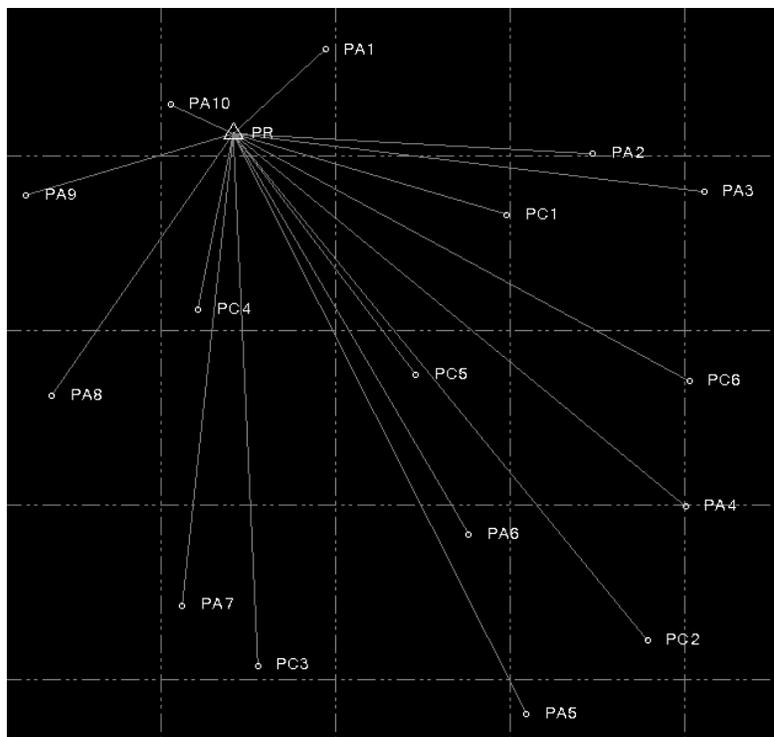


Figura 22. Visualización líneas base generada en post-procesamiento Rinex en TBC.

² RINEX (Receiver INdependent EXchange Format), es un formato de intercambio de datos GPS, que contiene la información cruda de las coordenadas calculadas por los receptores GNSS (Wolf, 2016).

³ <https://geodesy.noaa.gov/OPUS/>

4.3.2. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

En primera instancia se realizó la construcción de placas llamadas dianas, las cuales fueron puestas en terreno para visualizar los PC y PA (Figura 23) en las fotografías tomadas por el dron.

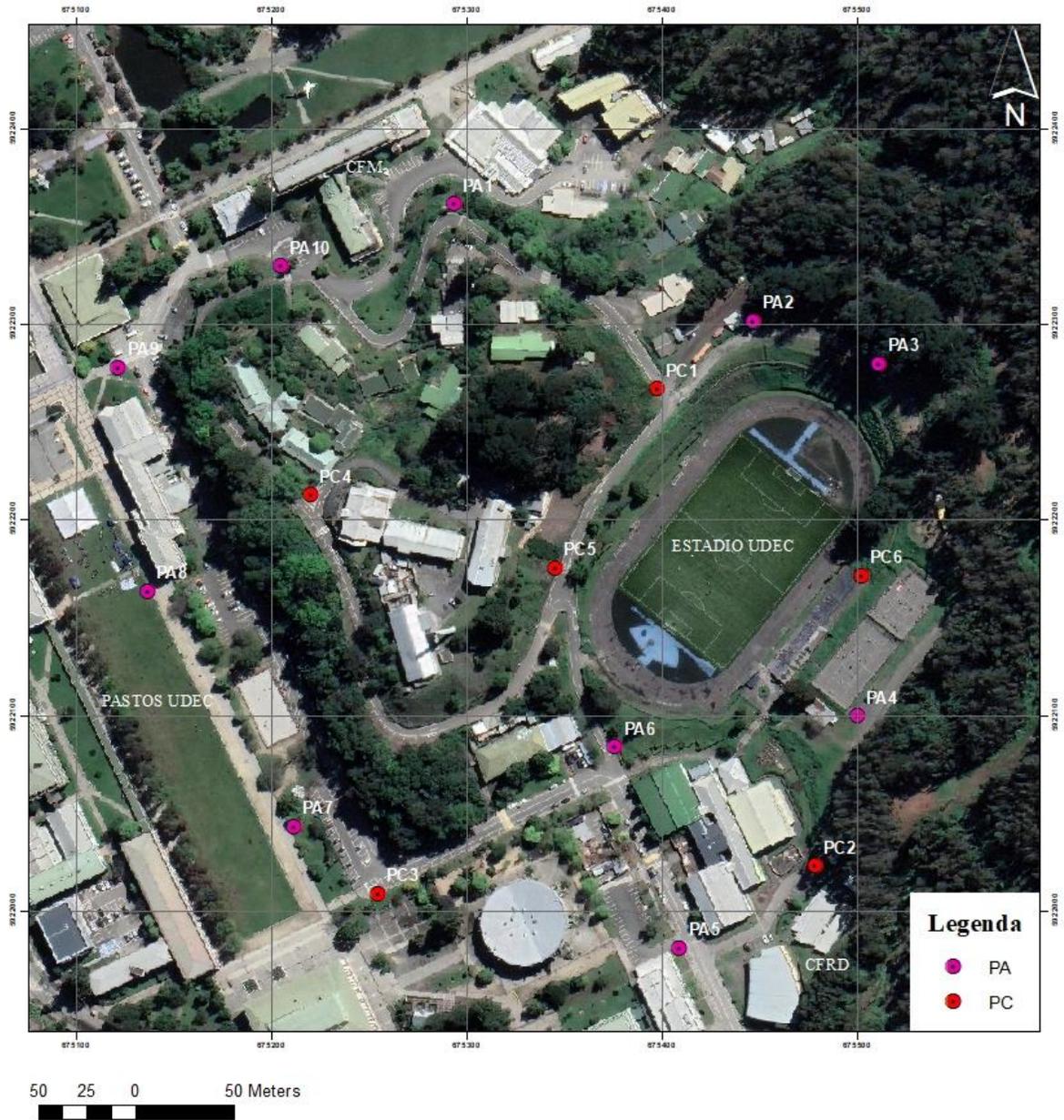


Figura 23. Cartografía PA y PC. (Elaboración propia)

En la Figura 24 se muestra una visualización de las dianas en terreno, donde la diana de la izquierda representa un punto de control y la diana de la derecha un punto de análisis.



Figura 24. Visualización de las dianas en terreno. (Elaboración propia)

Ubicadas las dianas en todos los puntos del terreno, se programó un plan de vuelo automático al dron utilizando el programa Universal Ground Control Software (UGCS). En tal herramienta informática, se seleccionó el modelo específico del dron utilizado, se definió el área a sobrevolar y se ingresaron los parámetros de vuelo (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros del vuelo fotogramétrico.

Parámetro de vuelo	Valores
Resolución	3 cm/pixel
Solape longitudinal	70%
Solape transversal	70%
Velocidad	9.5m/s

En base a los parámetros ingresados, el programa generó una trayectoria de vuelo (Figura 25), definiendo una altura de vuelo de 110 m y captura de fotografías cada 30 m.

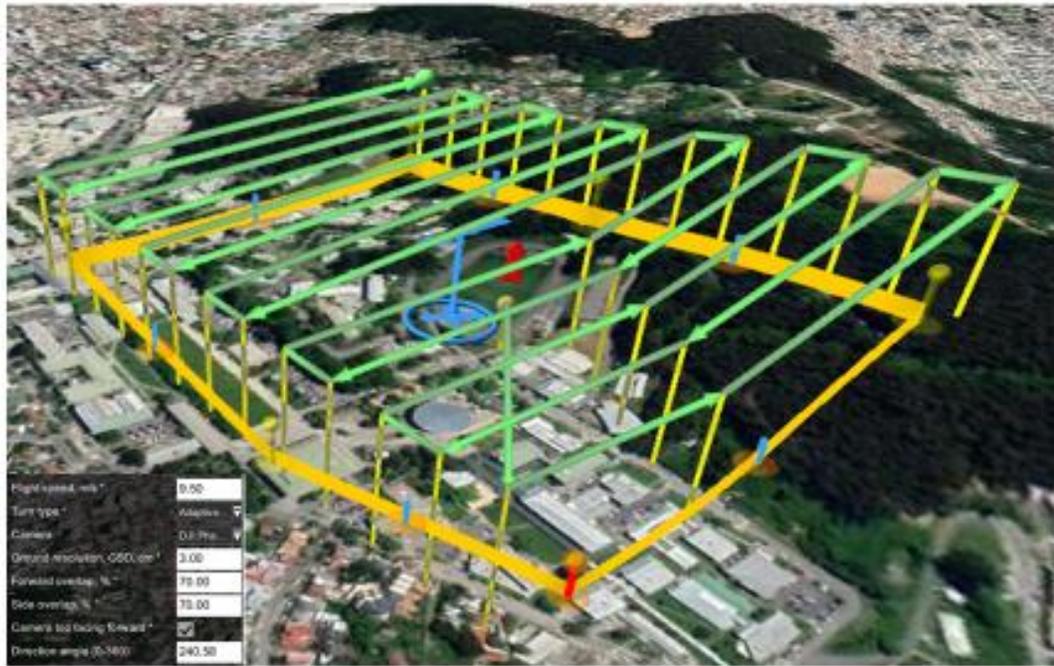


Figura 25. Trayectoria de vuelo generada en UGCS.

Finalizada la programación, se transfirió el plan de vuelo al dron para luego iniciar el levantamiento de las fotografías del terreno.

Post trabajo en campo, se cargaron desde la memoria del dron a la computadora las imágenes georreferenciadas, y posteriormente importadas a la herramienta informática PIX4D para su procesamiento.

En este procesamiento, se realizó el proceso de restitución fotogramétrica, orientando y correlacionando las fotografías puesto que cada una de ellas posee sus coordenadas georreferenciadas (longitud, latitud y altitud). Luego, se realizó la rectificación fotogramétrica, donde se importaron los puntos de control (PC) para ajustar el modelo creado (Figura 26).

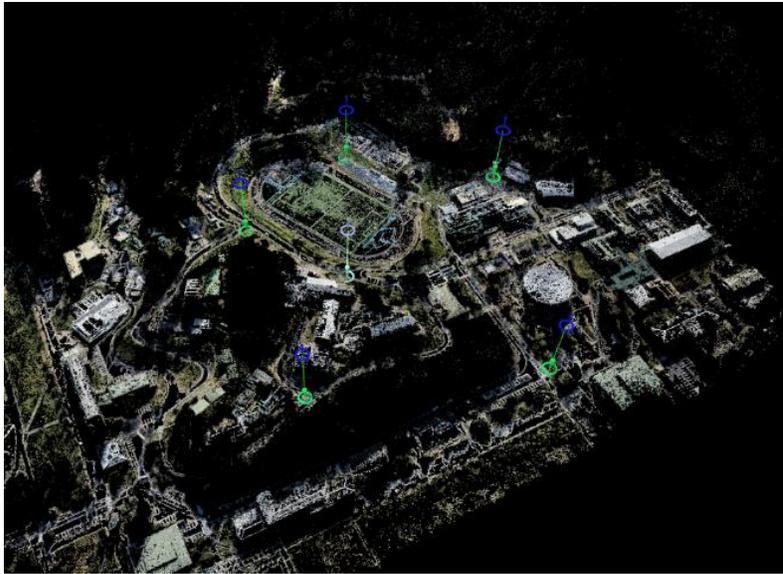


Figura 26. Visualización de los PC importados en el software PIX4D.

Finalmente, se generó una ortofotografía georreferenciada (Figura 27) del emplazamiento, para visualizar las coordenadas de los PA.



Figura 27. Ortofotografía generada en PIX4D.

4.3.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para esta parte del trabajo se midió con la estación total South 6N, instrumento topográfico utilizado solo para la toma los PA.

Primero se realizó el posicionamiento de dos puntos PR y PV con el equipo GNSS Trimble R8s (Figura 28), puntos necesarios orientar la Estación Total.



Figura 28. Medición punto de visado con receptores GNSS Trimble R8s.

Una vez montada y nivelada, se orientó la Estación Total ubicada sobre el PR con el PV. Realizado esto, se procedió al levantamiento de los PA, completando una poligonal cerrada hasta volver al PR. En tal levantamiento se midieron también puntos intermedios (PM) ya que no existía visualización continua entre todos los puntos de análisis antes definidos, la Figura 29 muestra la visualización de los puntos utilizados en el levantamiento topográfico con la estación total.

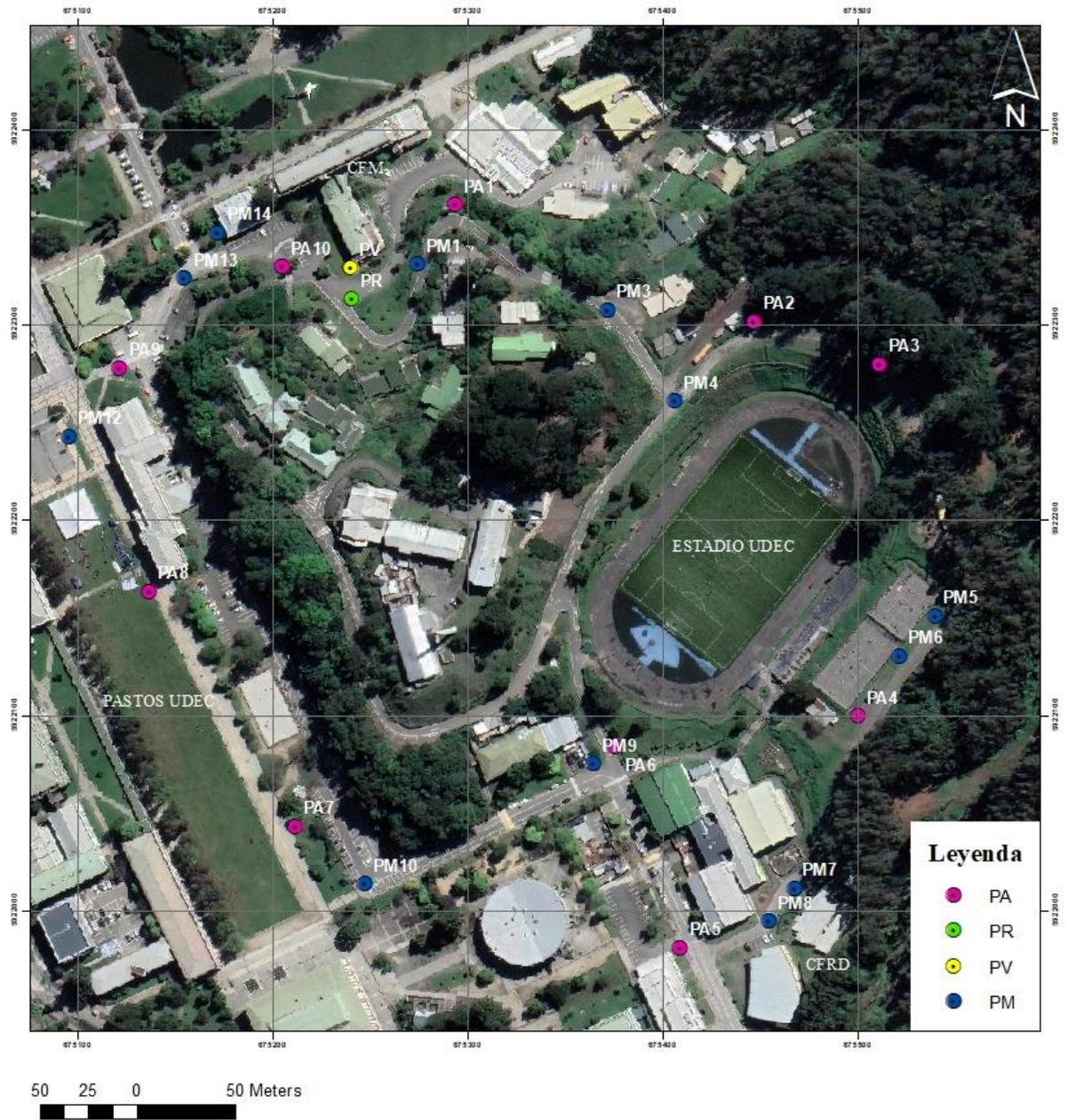


Figura 29. Cartografía de los puntos PA, PR, PV y PM. (Elaboración propia)

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el presente capítulo se expondrán las coordenadas obtenidas en el procesamiento de datos GNSS con la herramienta informática TBC (ANEXO A), las procesadas con la herramienta fotogramétrica PIX4D (ANEXO B) y las obtenidas con la Estación Total South N6 (ANEXO C). A continuación, se comparan las coordenadas del levantamiento fotogramétrico y topográfico con las coordenadas obtenidas en procesamiento GNSS, asumiendo que estas últimas son las más precisas.

5.1. RESULTADOS Y ANALISIS DE PRECISIÓN EN TOMA DE LOS DATOS GNSS.

La Tabla 5 muestra las coordenadas de los todos puntos ajustados en TBC, datos que se utilizaron como base para la comparativa de la investigación.

Tabla 5. Coordenadas geográficas UTM Zona 18S de los todos los puntos procesados en TBC (metros).

ID	X	Y	Z
PR	6.752.413.394	59.223.130.522	184.700
PC1	6.753.982.891	59.222.668.207	410.760
PC2	6.754.786.879	59.220.227.687	281.824
PC3	6.752.555.039	59.220.083.603	206.332
PC4	6.752.210.110	59.222.124.849	388.329
PC5	6.753.458.540	59.221.752.161	357.747
PC6	6.755.029.113	59.221.711.712	357.522
PA1	6.752.941.313	59.223.613.860	281.210
PA2	6.754.474.490	59.223.015.441	436.005
PA3	6.755.113.518	59.222.797.528	451.673
PA4	6.755.005.953	59.220.994.683	376.006
PA5	6.754.094.677	59.219.806.478	245.254
PA6	6.753.764.899	59.220.833.970	239.444
PA7	6.752.121.364	59.220.427.741	185.748
PA8	6.751.374.049	59.221.631.984	166.789
PA9	6.751.224.749	59.222.778.358	164.205
PA10	6.752.052.991	59.223.297.562	185.395
PV	6.752.405.934	59.223.291.187	179.362

La Figura 30 muestra la distribución espacial de todos los puntos en terreno mostrados en la Tabla 5.

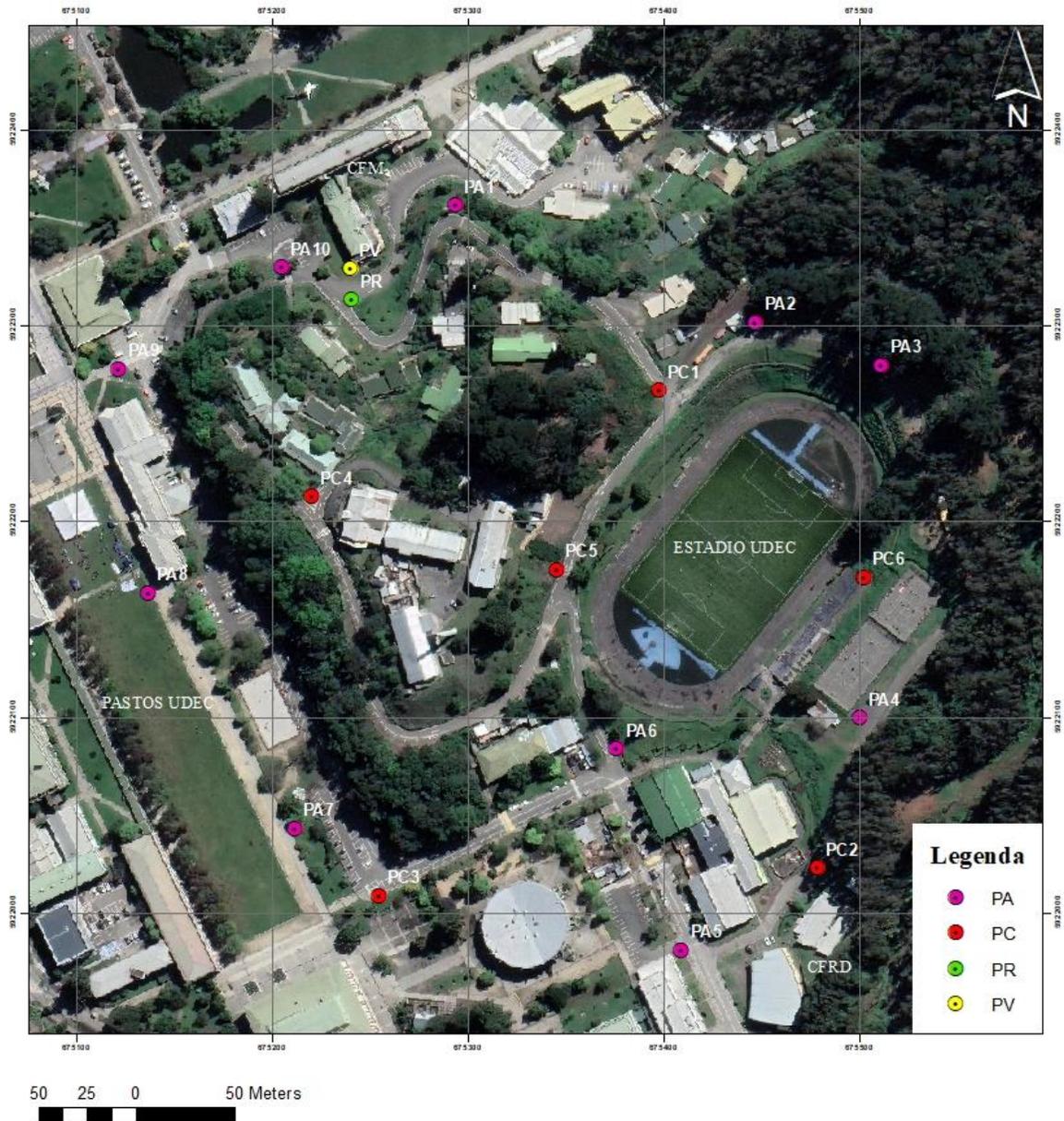


Figura 30. Cartografía de los puntos PA, PC, PR y PV. (Elaboración propia)

Para realizar un análisis de las precisiones alcanzadas con el equipo GNSS en terreno, en la Tabla 6 se muestran los errores obtenidos en la vertical y horizontal de todos los puntos.

Tabla 6. Errores horizontales y verticales de los puntos medidos con el sistema GNSS.

ID	Error H (m)	Error V (m)
PC1	0.0043	0.0164
PC2	0.0046	0.0109
PC3	0.0042	0.0070
PC4	0.0044	0.0086
PC5	0.0152	0.0338
PC6	0.0059	0.0093
PA1	0.0034	0.0121
PA2	0.0048	0.0195
PA3	0.0170	0.0704
PA4	0.0056	0.0156
PA5	0.0046	0.0087
PA6	0.0039	0.0070
PA7	0.0057	0.0090
PA8 ★	★ 0.0043 ★	★ 0.0067
PA9	0.0044	0.0080
PA10 ★	0.0112	★ 0.0230
PROMEDIO	0.0066	0.0162

Los datos crudos GNSS que obtuvieron más error, en contraste a los datos obtenidos en procesamiento TBC, fueron los puntos PC5 y PA3, como se muestra en gráfica de la Figura 31. Estas diferencias de posicionamiento no derivan de la cantidad de satélites conectados, si no de los errores provocados por multi-trayectoria que sufren las señales, producto de la cercanía a vegetación en el caso del PA3 y de obstáculo en el PC5, puntos que se muestran en la Figura 32.

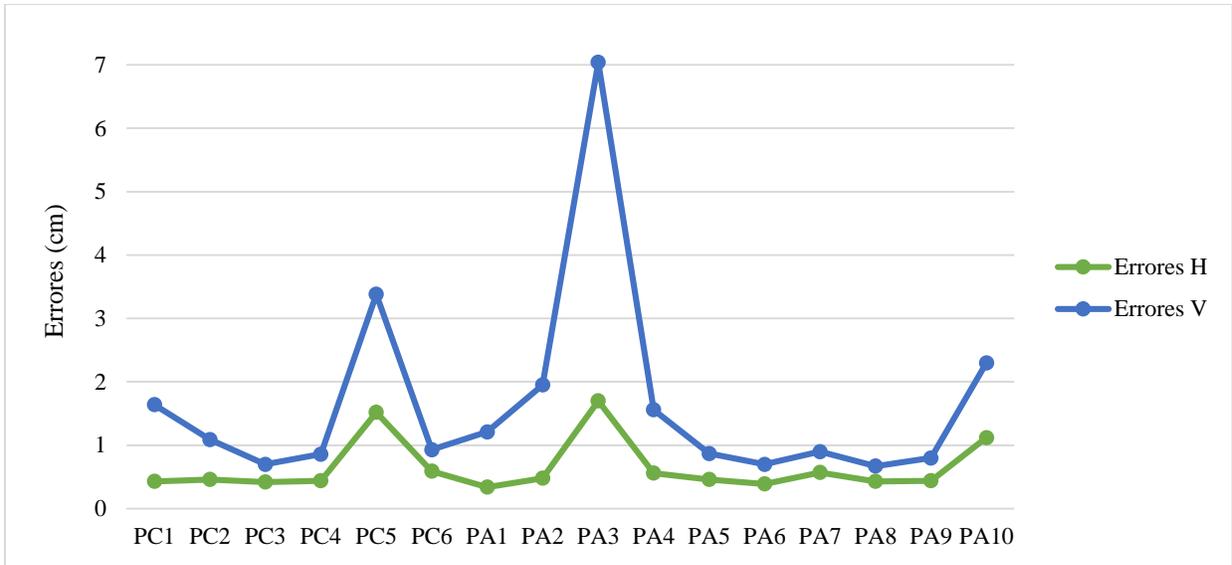


Figura 31. Gráfico de los errores verticales y horizontales de los puntos medidos con el sistema GNSS. (Elaboración propia)



Figura 32. Visualización PA3 y PC5.

5.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE PRECISIÓN DE LOS DATOS DE LA ESTACIÓN TOTAL

En la Tabla 7 se muestran las coordenadas de los PA levantados en terreno por la estación total, los cuales se comparan posteriormente con los datos procesados GNSS.

Tabla 7. Coordenadas geográficas UTM Zona 18S de los PA obtenidos con la ET South 6N.

ID	Este	Norte	Elevación
PA1	675.294.419	5.922.361.404	28.099
PA2	675.447.474	5.922.301.299	43.570
PA3	675.511.668	5.922.279.584	45.041
PA4	675.500.493	5.922.099.157	37.543
PA5	675.408.992	5.921.980.223	24.451
PA6	675.376.036	5.922.083.065	23.853
PA7	675.211.839	5.922.041.791	18.478
PA8	675.136.615	5.922.161.921	16.583
PA9	675.121.214	5.922.276.489	16.293
PA10	675.203.747	5.922.328.645	18.380

En la Figura 33 se muestra la diferencia en cada eje de coordenadas para todos los PA. Mostrando una tendencia de error acumulado a medida que se avanza en la toma de puntos de la poligonal, que va desde los 20 cm a 1.5 m solo en los ejes horizontales (X, Y). No así para las coordenadas del eje vertical (Z) el cual varía solamente de 0 a 10 cm.

La desviación del valor de las coordenadas de los puntos se asocia al error accidental debido a las operaciones de medición como son la falta de verticalidad en la nivelación de la mira o prisma, y al error sistemático del equipo, que tiene una precisión de $\pm (2 + 2\text{ppm} \times \text{distancia})$ mm. Estos errores se propagan en mayor medida debido al número de puntos intermedios (PM) que se debieron tomar por falta de visual directa entre los PA.

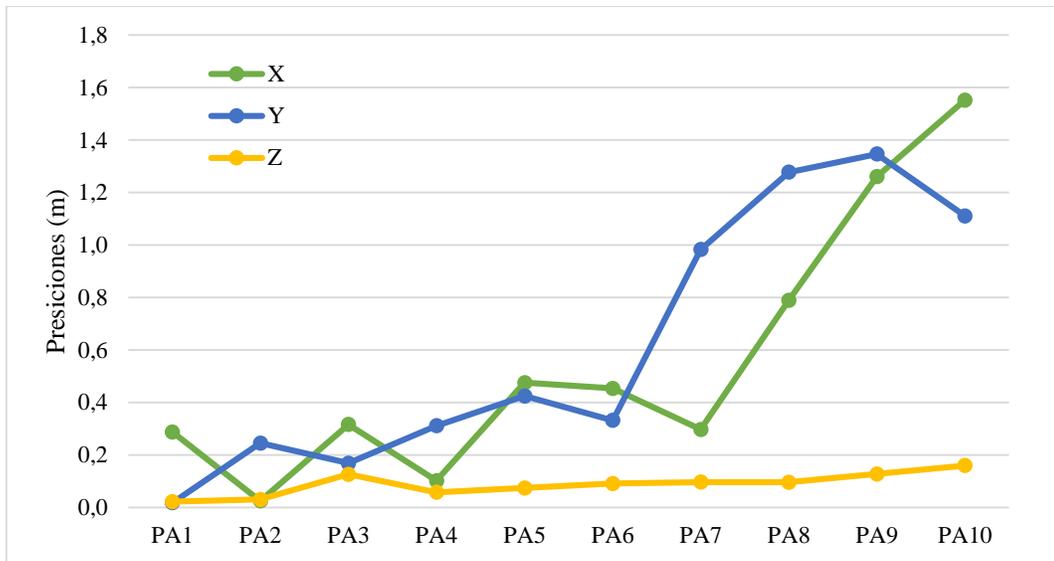


Figura 33. Gráfico de errores de las coordenadas ET vs post-procesadas GNSS. (Elaboración propia)

5.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE PRECISIÓN DE LOS DATOS FOTOGRAMÉTRICOS

La Tabla 8 muestra las coordenadas de los puntos PA obtenidas en el procesamiento fotogramétrico realizado en la herramienta informática PIX4D.

Tabla 8. Coordenadas geográficas UTM Zona 18S de los PA obtenidos en procesamiento fotogramétrico.

ID	Este	Norte	Elevación
PA1	675294.10	5922361.32	27.956
PA2	675447.40	5922301.56	43.544
PA3	675511.30	5922279.75	45.048
PA4	675500.60	5922099.47	37.651
PA5	675409.45	5921980.63	24.567
PA6	675376.50	5922083.39	23.993
PA7	675212.16	5922042.76	18.575
PA8	675137.45	5922163.23	16.652
PA9	675122.50	5922277.84	16.302
PA10	675205.32	5922329.71	18.278

Los resultados obtenidos para las coordenadas (X, Y, Z) de los PA en el procesamiento fotogramétrico se compararon con los datos procesados GNSS. La grafica con los errores se muestra

en la Figura 34. La diferencia en cada eje para todos los PA presenta mayor error en el eje Z desde 4 a 33 cm, en comparación con los ejes X e Y, cuyas coordenadas varían de 0 a 5 cm y de 0 a 10 cm, respectivamente. En los 3 casos son errores de orden centimétrico. Analizando los PA por separados se puede distinguir que las diferencias más grandes se presentan en los puntos PA1 y PA10, los cuales poseen un diferencial de aproximadamente 26 y 33 cm respectivamente, este error se asocia a la influencia de los PC, véase Figura 35.

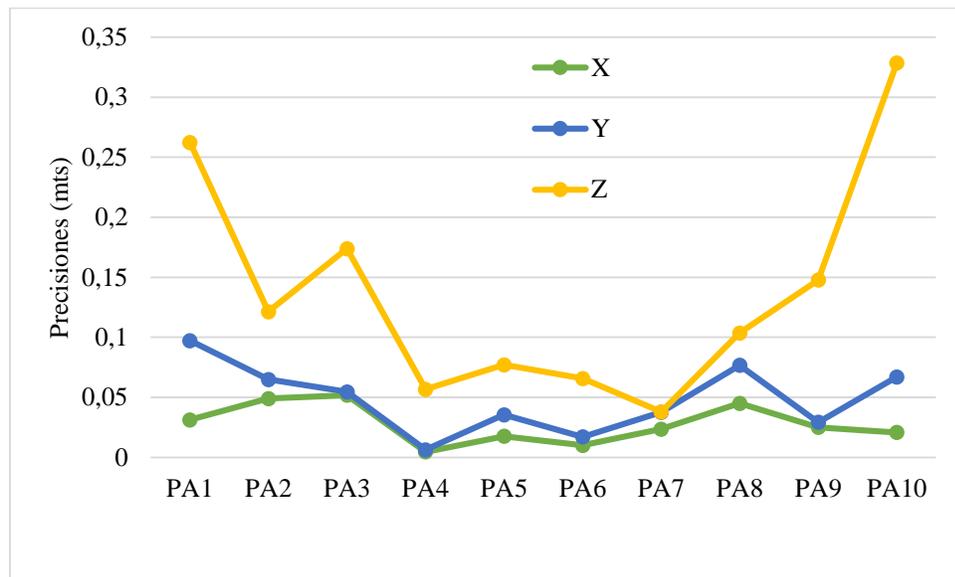


Figura 34. Gráfico precisiones de las coordenadas fotogrametría vs GNSS. (Elaboración propia)

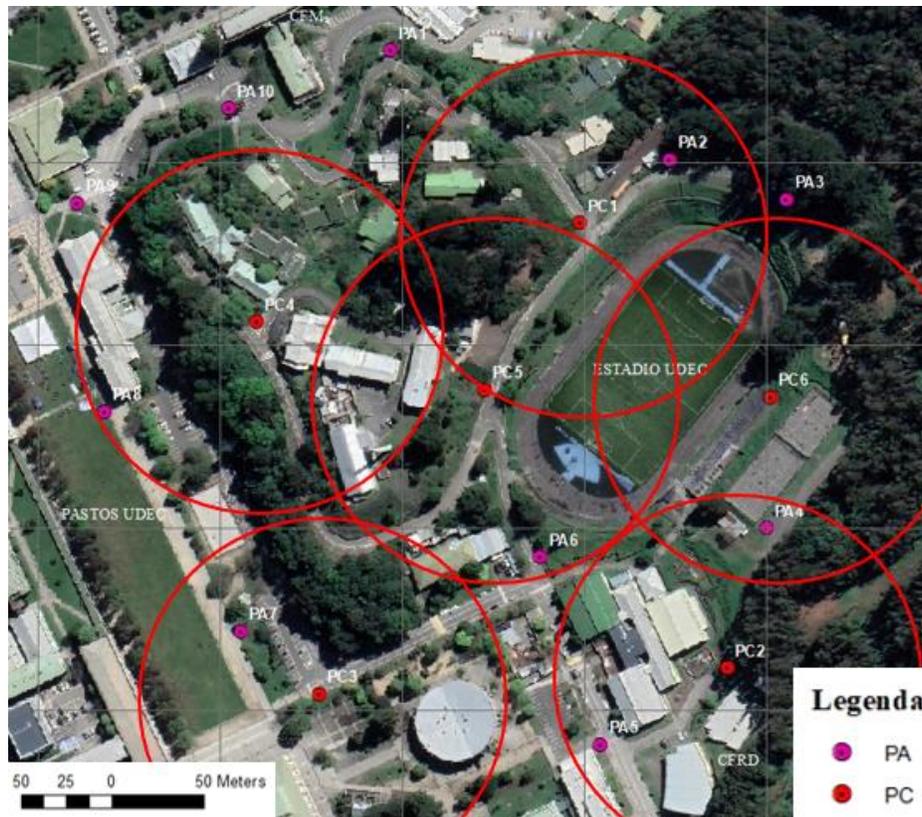


Figura 35. Influencia de los PC sobre los PA.

5.4. ANALISIS DE TIEMPOS DE OPERACIÓN Y COSTOS DE INVERSIÓN

Realizando un análisis comparativo del tiempo total requerido entre los levantamientos topográfico y fotogramétrico (Figura 36), se observa que en la topografía con estación total el tiempo empleado tiene una relación directamente proporcional con la cantidad de puntos medidos. Sin embargo, el tiempo empleado en la fotogrametría, no se ve afectado por la cantidad de PA del levantamiento.

En el caso del método topográfico con estación total se debe considerar que cuando se trabaja con coordenadas absolutas y no se dispone de puntos con coordenadas conocidas, es necesario considerar 2 horas adicionales para obtener las coordenadas de al menos dos puntos con un GNSS para orientar la ET. Después de la orientación, este trabajo se tardó un promedio de 15 min para la toma de cada punto.

Para el método fotogramétrico, se necesita realizar todo el proceso para obtener las coordenadas de los PA. Considerando el tiempo empleado en el posicionamiento de los PC (2 horas)

con el GNSS, más el tiempo empleado en el vuelo fotogramétrico con el dron (45 min) y el tiempo de post-procesamiento en gabinete (2 horas 15 min), se tarda un total aproximado de 5 horas para todo el proceso.

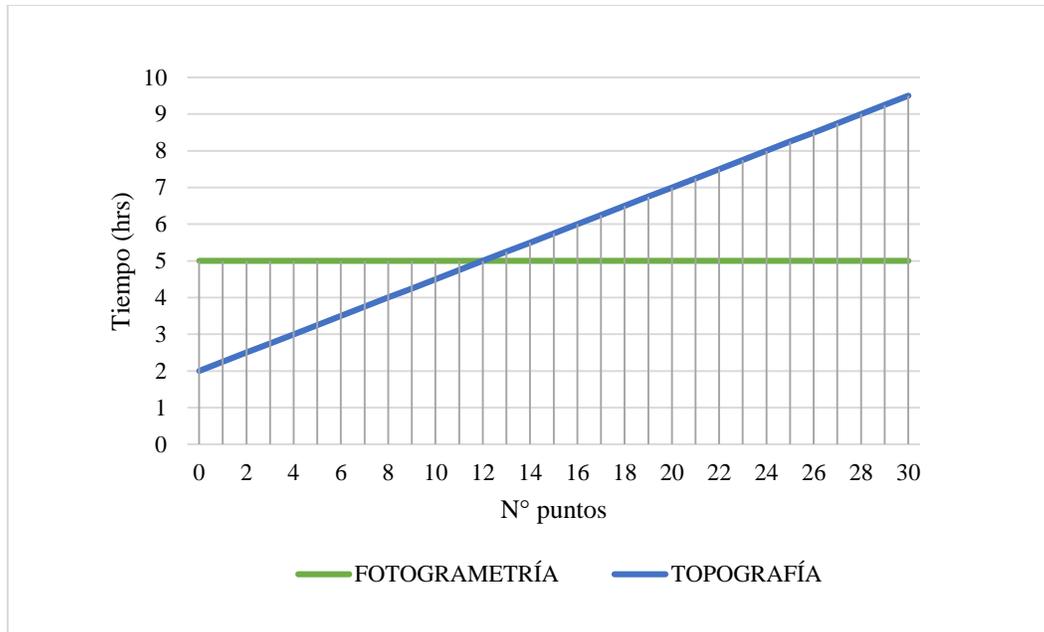


Figura 36. Gráfico tiempo requerido para trabajo topográfico vs fotogramétrico. (Elaboración propia)

Finalmente, en base a las cotizaciones realizadas a empresas dedicadas a la venta de equipos y las herramientas informáticas, se pudo recopilar información sobre los costos para cada método (ANEXO D).

En la Tabla 9 se muestran los costos de inversión para un levantamiento fotogramétrico, la cual consta de un sistema GNSS necesario para la toma de puntos de control, un software de procesamiento GNSS para ajustar dichos puntos, un equipo dron para la captura de fotografías, y un software de procesamiento fotogramétrico para obtener modelos digitales y ortofotos georreferenciadas.

Tabla 9. Costos equipos y software de procesamiento de datos para fotogrametría digital con Dron.

EQUIPOS Y SOFTWARE	COTIZACIONES
Dron	\$3.990.000 + IVA
Sistema GNSS + software procesamiento GNSS	\$16.141.890 + IVA (USD 20.375 + IVA)
Software procesamiento fotogramétrico	\$1.290.000 + IVA
TOTAL	\$ 21.421.890 + IVA

La Tabla 10 muestra los costos de inversión para un levantamiento topográfico, la cual consta de un sistema GNSS para la toma de puntos para orientar la ET, un software de procesamiento GNSS para ajustar dichos puntos, y una estación total para llevar a cabo el levantamiento.

Tabla 10. Costos equipos y software de procesamiento de datos para topografía clásica con ET.

EQUIPOS Y SOFTWARE	COTIZACIONES
Estación Total	\$3.915.100 + IVA
Sistema GNSS + software procesamiento GNSS	\$16.141.890 + IVA (USD 20.375 + IVA)
TOTAL	\$20.056.990 + IVA

Realizando un cálculo de la razón entre ambos métodos en base a las cotizaciones, se puede apreciar que el levantamiento topográfico con ET equivale al 93,6% del costo de inversión para un levantamiento fotogramétrico con dron.

6. CONCLUSIONES

Las precisiones de las coordenadas obtenidas en este estudio mediante fotogrametría con el VANT Phantom 4Pro y procesamiento con el software PIX4D, es del orden centimétrico, en contraste a los obtenidos por topografía clásica con la ET South 6N, los cuales fueron del orden decimétrico.

Analizando por separado las metodologías de fotogrametría con dron y el levantamiento topográfico con ET, se puede concluir que el tiempo empleado en fotogrametría, considerando la toma de los PC en terreno y el procesamiento en gabinete es muy similar, para la cantidad de PA medidos con la ET.

Respecto al tiempo requerido para medir más puntos PA considerando el mismo área de estudio, con el método fotogramétrico no sufre alteraciones, pero si con ET y es directamente proporcional a la cantidad de puntos medidos, superando el tiempo requerido por la fotogrametría a partir de 12 puntos de medición.

Por otro lado, el costo de operación de la fotogrametría es menor, puesto que en el levantamiento del terreno una vez realizadas las actividades para la implantación de los PC, el dron puede volar cada día y procesar imágenes, sin emplear tiempo o trabajo de terreno adicional, en cambio con topografía clásica mediante ET, se necesita trabajo intenso de terreno cada vez que se desee levantar nuevos datos de la zona.

Haciendo énfasis de los entregables, la fotogrametría no sólo permite obtener coordenadas de puntos, como es el caso de la topografía con ET, sino que también, permite obtener un modelo tridimensional digital con una nube densa de puntos georreferenciada exportable para trabajar en otras herramientas informáticas.

Por otra parte, los costos inversión considerando los equipos y las herramientas informáticas cotizados, el método topográfico con ET es más económico, siendo este el 93,6% del costo de inversión del método fotogramétrico con dron.

Como conclusión final, la fotogrametría es una técnica que se encuentra en constante evolución, ha demostrado ser precisa y fiable en su medición, pudiendo obtenerse más información sobre el área trabajada para un mismo tiempo requerido, y con un costo parecido en comparación a la topografía clásica con estación total.

En base al objetivo general de este trabajo de memoria, la fotogrametría digital mediante la tecnología de Vehículos Aéreos No Tripulados presenta ventajas significativas frente a la Topografía clásica con Estación Total y es el método que más proyección a futuro tiene para el levantamiento de grandes superficies de terreno.

No obstante, en el caso de la topografía con ET, seguirá siendo útil para el levantamiento preciso de puntos en extensiones pequeñas, compitiendo en tiempo, precisión y costos con el resto de técnicas. Sustituyendo, además, a los sistemas GNSS y a la fotogrametría en casos con problemas de visibilidad por vegetación u otros objetos que den lugar a errores por fenómenos de multi-trayectoria en el caso del GNSS.



REFERENCIAS

Alvarado, M., Gonzalez, F., Fletcher, A., & Doshi, A. (2015). Towards the development of a low cost airborne sensing system to monitor dust particles after blasting at open-pit mine sites. *Sensors*, 15(8), 19667-19687.

Ayamga, M., Akaba, S., & Nyaaba, A. A. (2021). Multifaceted applicability of drones A review. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120677.

Bamford, T., Esmaeili, K., & Schoellig, A. P. (2017 a). A real-time analysis of post-blast rock fragmentation using UAV technology. *International journal of mining, reclamation and environment*, 31(6), 439-456.

Bamford, T., Esmaeili, K., & Schoellig, A. P. (2017 b). Aerial rock fragmentation analysis in low-light condition using uav technology. *arXiv preprint arXiv:1708.06343*.

Behrman, C., Van Arsdale, R., Kwon, Y., Stockslager, K., Leverett, D., & Lumsden, D. (2019). Drone Geologic Mapping of an Active Sand and Gravel Quarry, Desoto County, Mississippi. *Drones*, 3(3), 57.

Benevenuti, F. D., & de Lemos Peroni, R. (2021). Detecting drainage pitfalls in open-pit mines and haul roads using UAV-photogrammetry. *Dyna*, 88(216), 190-195.

Berné Valero, J. L., Anquela Julián, A. B., & Garrido Villén, N. (2014). GNSS. GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática. *Colección Académica. Editorial UPV*.

Carabassa, V., Montero, P., Alcañiz, J. M., & Padró, J. C. (2021). Soil erosion monitoring in quarry restoration using drones. *Minerals*, 11(9), 949.

Carabassa, V., Montero, P., Crespo, M., Padró, J. C., Pons, X., Balagué, J., ... & Alcañiz, J. M. (2020). Unmanned aerial system protocol for quarry restoration and mineral extraction monitoring. *Journal of Environmental Management*, 270, 110717.

Coelho, M. O., Martins, G. D., & Gallis, R. A. B. (2019). Volume Quantification of Ore Pile from the Integration and Comparison Topography/Photogrammetry. *Instituto de Geociencias. Anuario*, 301-307.

Cryderman, C., Mah, S. B., & Shufletoski, A. (2014). Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping and earthworks computations. *Geomatica*, 68(4), 309-317.

Cuerno Rejado, C., Garcia Hernandez, L., Sanchez Carmona, A., Carrió Fernández, A., Sanchez Lopez, J. L., & Campoy Cervera, P. (2016). Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. *Dyna*, 91(3), 282-288.

Dirección General de Aeronautica Civil (DGAC), (2020), DAN 151 Operaciones de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en asuntos de interés público, que se efectúen sobre áreas pobladas (2da Edición).

El-naggar, A. M. (2011). An alternative methodology for the mathematical treatment of GPS positioning. *Alexandria Engineering Journal*, 50(4), 359-366. Hernandez D., 2006, introduccion-fotogrametria-digital.

Govekar, S. (2021). Drone with LiDAR System. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9(VIII), 655-661. doi10.22214ijraset.2021.37435

Guard, U. C. (1996). NAVSTAR GPS user equipment introduction. *Journal of Navigation*, 1.

Hernandez, D. (2006), Introducción a la fotogrametría digital.

Khomsin et al. (2020) GNSS Accuracy Analysis for Efficiency of Ground Control Point (GCP) Measurement.

Lee, S., & Choi, Y. (2015 a). Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (drone). *Tunnel and underground space*, 25(5), 462-469.

Lee, S., & Choi, Y. (2015 b). On-site demonstration of topographic surveying techniques at open-pit mines using a fixed-wing unmanned aerial vehicle (drone). *Tunnel and Underground Space*, 25(6), 527-533.

Lee, S., & Choi, Y. (2016). Reviews of unmanned aerial vehicle (drone) technology trends and its applications in the mining industry. *Geosystem Engineering*, 19(4), 197-204.

Linder, W. (2009). *Fotogrametría digital* (Vol. 1). Berlín/Heidelberg, Alemania: Springer.

Mantey, S., & Aduah, M. S. (2021). Comparative Analysis of Stockpile Volume Estimation using UAV and GPS Techniques. *Ghana Mining Journal*, 21(1), 1-10.

Ministerio de Obras Públicas. (2022). Manual de Carreteras. Volumen N°2. Procedimientos de Estudios Viales. Gobierno de Chile.

McLeod, T., Samson, C., Labrie, M., Shehata, K., Mah, J., Lai, P., ... & Elder, J. H. (2013). Using video acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) to measure fracture orientation in an open-pit mine. *Geomatica*, 67(3), 173-180.

Medinac, F., Bamford, T., Hart, M., Kowalczyk, M., & Esmaeili, K. (2020). Haul road monitoring in open pit mines using unmanned aerial vehicles: A case study at Bald Mountain Mine Site. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37, 1877-1883.

Molnar, A., & Domozi, Z. (2017, November). Tracking Production Volumes of Open-Pit Mines with Photogrammetry. In *2017 European Modelling Symposium (EMS)* (pp. 100-106). IEEE.

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

Park, M. H., Kim, S. G., & Choi, S. Y. (2013). The study about building method of geospatial informations at construction sites by unmanned aircraft system (UAS). *Journal of the Korean Cadastre Information*, 15(1), 145-156.

Peña, J. S., & Méndez, T. S. (2011). Fundamentos de fotogrametría.

Santamaría Peña, J., & Sanz Méndez, T. (2005). Manual de prácticas de topografía y cartografía.

Shahmoradi, J., Talebi, E., Roghanchi, P., & Hassanalian, M. (2020). A comprehensive review of applications of drone technology in the mining industry. *Drones*, 4(3), 34.

Thompson, R. J., Visser, A. T., Heyns, P. S., & Hugo, D. (2006). Mine road maintenance management using haul truck response measurements. *Mining Technology*, 115(4), 123-128.

Winkelmaier, G., Battulwar, R., Khoshdeli, M., Valencia, J., Sattarvand, J., & Parvin, B. (2020). Topographically guided UAV for identifying tension cracks using image-based analytics in open-pit mines. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(6), 5415-5424.

Wolf, P., & Ghilani, C. (2016). *Topografía*. Alpha Editorial.

Xiang, T. Z., Xia, G. S., & Zhang, L. (2018). Mini-UAV-based Remote Sensing: Techniques, Applications and Prospectives. arXiv 2018. *arXiv preprint arXiv:1812.07770*.

Yousefi, S. M., Arefi, H., & Bahroudi, A. (2019). DETECTING PROBABLE ROCKFALLS IN OPEN PIT MINES BASED ON UAV POINT CLOUDS. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.

Zidan, J., Adegoke, E. I., Kampert, E., Birrell, S. A., Ford, C. R., & Higgins, M. D. (2020). GNSS vulnerabilities and existing solutions: A review of the literature. *IEEE Access*, 9, 153960-153976.



ANEXO A: INFORME DE PROCESAMIENTO LINEAS BASE GNSS EN TRIMBLE BUSINESS CENTER (TBC)

Datos del archivo del proyecto	Sistema de coordenadas	
Nombre:	Nombre:	World wide/UTM
Tamaño:	Datum:	WGS 1984
Modificado/a:	Zona:	18 South
Zona horaria:	Geoide:	EGM 2008 Chile
Número de referencia:	Datum vertical:	
Descripción:	Obra calibrada:	
Comentario 1:		
Comentario 2:		
Comentario 3:		

Informe de procesamiento de líneas base

Procesando resumen

Observación	De	A	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)	Aci. geod.	Dist. elip (Metro)	ΔAltura (Metro)
PA1 (B1)	PR	PA1	Fija	0.0034	0.0121	46°20'46"	71.5776	9.6526
PC1 (B2)	PR	PC1	Fija	0.0043	0.0164	105°14'05"	163.6207	22.6147
PA2 (B3)	PR	PA2	Fija	0.0048	0.0195	92°01'03"	206.4351	25.1407
PA3 (B4)	PR	PA3	Fija	0.0170	0.0704	95°51'08"	272.0637	26.7108
PA4 (B5)	PR	PA4	Fija	0.0056	0.0156	128°18'17"	335.9114	19.1473
PC2 (B6)	PR	PC2	Fija	0.0046	0.0109	139°33'03"	374.9731	9.7298
PA5 (B7)	PR	PA5	Fija	0.0046	0.0087	151°59'30"	372.5128	6.0705
PA6 (B8)	PR	PA6	Fija	0.0039	0.0070	148°20'43"	266.4775	5.4859
PC3 (B9)	PR	PC3	Fija	0.0042	0.0070	176°09'36"	305.0276	2.1702
PA7 (B10)	PR	PA7	Fija	0.0057	0.0090	184°59'19"	271.8571	0.1090
PA8 (B11)	PR	PA8	Fija	0.0043	0.0067	213°33'57"	182.3733	-1.7931
PA10 (B12)	PR	PA10	Fija	0.0112	0.0230	293°41'19"	39.7240	0.0674
PC4 (B13)	PR	PC4	Fija	0.0044	0.0086	190°14'58"	102.6036	20.3640
PA9 (B14)	PR	PA9	Fija	0.0044	0.0080	252°19'07"	123.9743	-2.0547
PC5 (B15)	PR	PC5	Fija	0.0152	0.0338	141°39'02"	172.9838	17.3127
PC6 (B16)	PR	PC6	Fija	0.0059	0.0093	117°17'53"	297.5800	17.2976

PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PA1 (B1)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0034 m
Precisión vertical:	0.0121 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	2.943
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:10
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De:		PR			
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta:		PA1			
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675294.1313 m	Latitud	S36°49'42.21858"	Latitud	S36°49'42.21858"
Norte	5922361.3860 m	Longitud	A73°02'03.80926"	Longitud	A73°02'03.80926"
Elevación	28.1210 m	Altura	48.4086 m	Altura	48.4086 m

Vector					
ΔEste	52.7919 m	Acimut Adelante NS	46°20'46"	ΔX	60.4312 m
ΔNorte	48.3337 m	Dist. elip	71.5776 m	ΔY	-20.6075 m
ΔElevación	9.6510 m	ΔAltura	9.6526 m	ΔZ	33.7638 m

Errores estándar

Errores de vector:					
σ ΔEste	0.0012 m	σ Acimut NS delantero	0°00'04"	σ ΔX	0.0018 m
σ ΔNorte	0.0013 m	σ Dist. elipsoide	0.0011 m	σ ΔY	0.0046 m
σ ΔElevación	0.0062 m	σ ΔAltura	0.0062 m	σ ΔZ	0.0042 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000031795		
Y	-0.0000059822	0.0000208946	
Z	-0.0000056476	0.0000174118	0.0000174565

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PA1
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena



Resumen de seguimiento

SV	Segundos intercalados inválidos	Duración: 00:08:10	Intervalo principal: 00:01:56	Segundos intercalados inválidos
G 10	L1 L2			
G 16	L1 L2			
G 18	L1 L2			
G 23	L1 L2			
G 26	L1 L2			
G 27	L1 L2			
R 4	L1 L2			
R 5	L1 L2			
R 10	L1			
R 11	L1 L2			
R 20	L1 L2			
R 21	L1 L2			

PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PC1 (B2)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0043 m
Precisión vertical:	0.0164 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	2.969
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:00
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De:		PR			
	Cuadrícula		Local		Global
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta:		PC1			
	Cuadrícula		Local		Global
Este	675398.2891 m	Latitud	S36°49'45.21616"	Latitud	S36°49'45.21616"
Norte	5922266.8207 m	Longitud	A73°01'59.52837"	Longitud	A73°01'59.52837"
Elevación	41.0760 m	Altura	61.3707 m	Altura	61.3707 m

Vector					
ΔEste	156.9498 m	Acimut Adelante NS	105°14'05"	ΔX	148.7630 m
ΔNorte	-46.2315 m	Dist. elip	163.6207 m	ΔY	53.4044 m
ΔElevación	22.6060 m	ΔAltura	22.6147 m	ΔZ	-47.9698 m

Errores estándar

Errores de vector:					
$\sigma \Delta$ Este	0.0015 m	σ Acimut NS delantero	0°00'02"	$\sigma \Delta$ X	0.0025 m
$\sigma \Delta$ Norte	0.0017 m	σ Dist. elipsoide	0.0016 m	$\sigma \Delta$ Y	0.0060 m
$\sigma \Delta$ Elevación	0.0084 m	$\sigma \Delta$ Altura	0.0084 m	$\sigma \Delta$ Z	0.0057 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

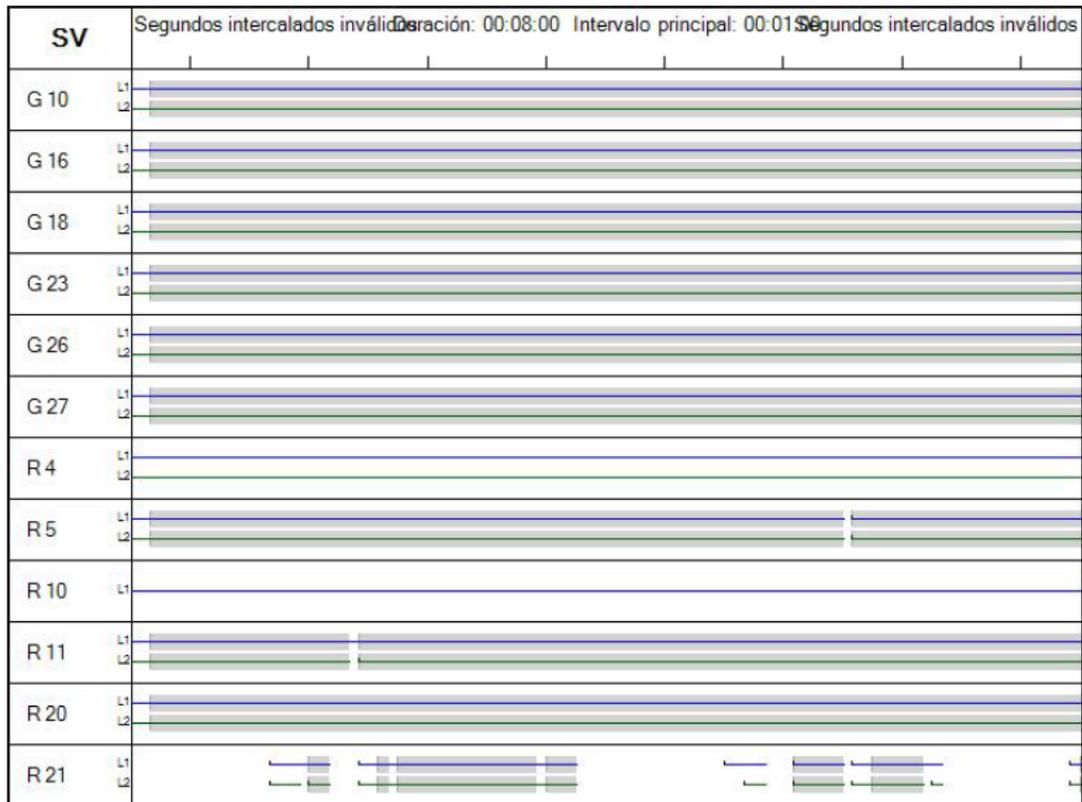
	X	Y	Z
X	0.0000063908		
Y	-0.0000119853	0.0000355364	
Z	-0.0000118175	0.0000319169	0.0000329120

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PC1
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena



Resumen de seguimiento



PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PA2 (B3)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0048 m
Precisión vertical:	0.0195 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	2.829
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:00
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De: PR					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta: PA2					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675447.4490 m	Latitud	S36°49'44.05713"	Latitud	S36°49'44.05713"
Norte	5922301.5441 m	Longitud	A73°01'57.57379"	Longitud	A73°01'57.57379"
Elevación	43.6005 m	Altura	63.8967 m	Altura	63.8967 m

Vector					
Δ Este	206.1097 m	Acimut Adelante NS	92°01'03"	ΔX	201.9310 m
Δ Norte	-11.5082 m	Dist. elip	206.4351 m	ΔY	45.1205 m
Δ Elevación	25.1305 m	Δ Altura	25.1407 m	ΔZ	-20.8855 m

Errores estándar

Errores de vector:					
σ Δ Este	0.0016 m	σ Acimut NS delantero	0°00'02"	σ ΔX	0.0029 m
σ Δ Norte	0.0019 m	σ Dist. elipsoide	0.0016 m	σ ΔY	0.0073 m
σ Δ Elevación	0.0100 m	σ Δ Altura	0.0100 m	σ ΔZ	0.0067 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000083283		
Y	-0.0000171236	0.0000532839	
Z	-0.0000155165	0.0000451505	0.0000442369

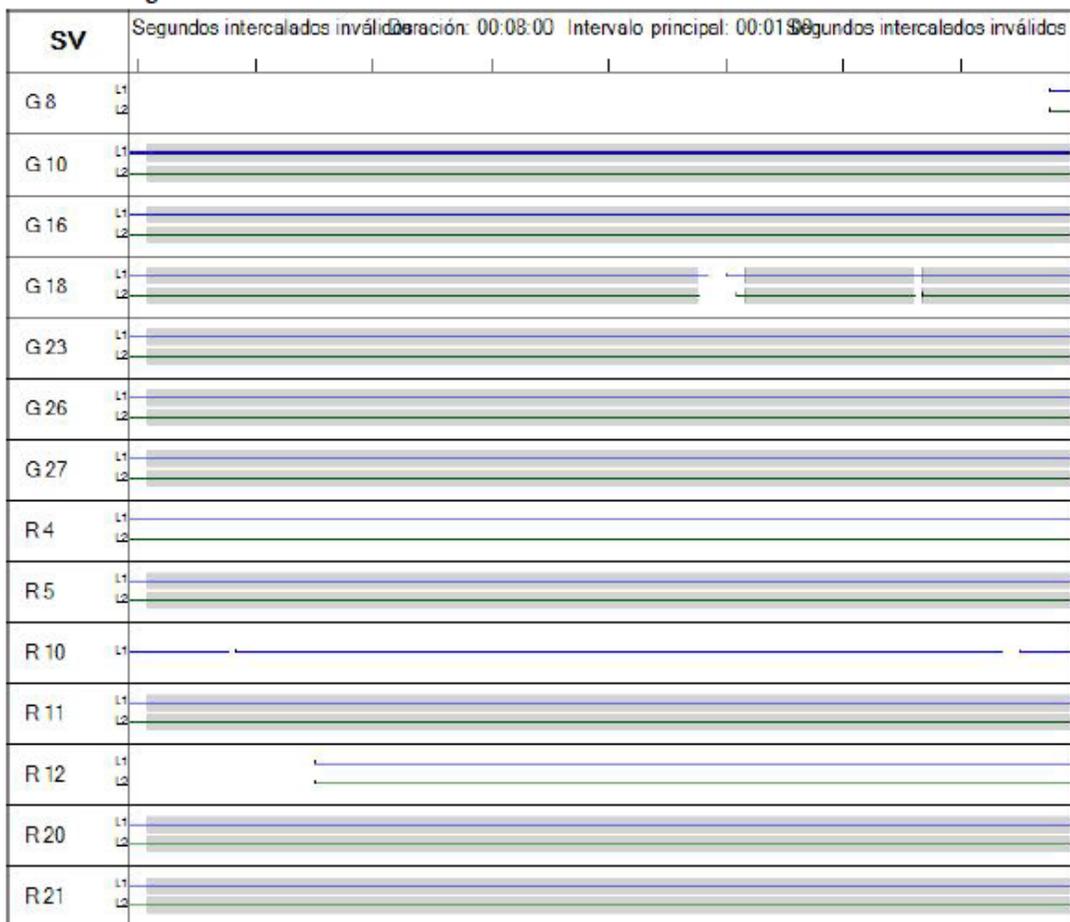
Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000083283		
Y	-0.0000171236	0.0000532839	
Z	-0.0000155165	0.0000451505	0.0000442369

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PA2
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena

Resumen de seguimiento



PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PA3 (B4)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0170 m
Precisión vertical:	0.0704 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	2.420
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:00
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De:		PR			
	Cuadrícula		Local		Global
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta:		PA3			
	Cuadrícula		Local		Global
Este	675511.3518 m	Latitud	S36°49'44.72122"	Latitud	S36°49'44.72122"
Norte	5922279.7528 m	Longitud	A73°01'54.97745"	Longitud	A73°01'54.97745"
Elevación	45.1673 m	Altura	65.4668 m	Altura	65.4668 m

Vector					
ΔEste	270.0124 m	Acimut Adelante NS	95°51'08"	ΔX	260.2557 m
ΔNorte	-33.2995 m	Dist. elip	272.0637 m	ΔY	74.4319 m
ΔElevación	26.6973 m	ΔAltura	26.7108 m	ΔZ	-38.2127 m

Errores estándar

Errores de vector:					
$\sigma \Delta Este$	0.0064 m	σ Acimut NS delantero	0°00'05"	$\sigma \Delta X$	0.0105 m
$\sigma \Delta Norte$	0.0069 m	σ Dist. elipsoide	0.0064 m	$\sigma \Delta Y$	0.0280 m
$\sigma \Delta Elevación$	0.0359 m	$\sigma \Delta$ Altura	0.0359 m	$\sigma \Delta Z$	0.0220 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0001099227		
Y	-0.0002273468	0.0007844212	
Z	-0.0001722115	0.0005666790	0.0004832129

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0001099227		
Y	-0.0002273468	0.0007844212	
Z	-0.0001722115	0.0005666790	0.0004832129

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PA3
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena

Resumen de seguimiento



PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PA4 (B5)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0056 m
Precisión vertical:	0.0156 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	2.257
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:15
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De: PR					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta: PA4					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675500.5953 m	Latitud	S36°49'50.57569"	Latitud	S36°49'50.57569"
Norte	5922099.4683 m	Longitud	A73°01'55.26162"	Longitud	A73°01'55.26162"
Elevación	37.6006 m	Altura	57.9033 m	Altura	57.9033 m

Vector					
Δ Este	259.2559 m	Acimut Adelante NS	128°18'17"	ΔX	220.1818 m
Δ Norte	-213.5839 m	Dist. elip	335.9114 m	ΔY	181.6410 m
Δ Elevación	19.1306 m	Δ Altura	19.1473 m	ΔZ	-178.1329 m

Errores estándar

Errores de vector:					
$\sigma \Delta$ Este	0.0023 m	σ Acimut NS delantero	0°00'01"	$\sigma \Delta X$	0.0025 m
$\sigma \Delta$ Norte	0.0022 m	σ Dist. elipsoide	0.0023 m	$\sigma \Delta Y$	0.0064 m
$\sigma \Delta$ Elevación	0.0080 m	$\sigma \Delta$ Altura	0.0080 m	$\sigma \Delta Z$	0.0051 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000061412		
Y	-0.0000070141	0.0000412579	
Z	-0.0000056168	0.0000278221	0.0000263246

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PA4
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena

Resumen de seguimiento

SV	Duración: 00:08:15 Intervalo principal: 00:01:30 Segundos intercalados inválidos	
G 8	L1 L2	
G 10	L1 L2	
G 16	L1 L2	
G 18	L1 L2	
G 23	L1 L2	
G 26	L1 L2	
G 27	L1 L2	
R 5	L1 L2	
R 10	L1	
R 11	L1 L2	
R 12	L1 L2	
R 21	L1 L2	
R 22	L1	

PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PC2 (B6)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0046 m
Precisión vertical:	0.0109 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	2.261
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:00
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De:		PR					
		Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"		
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"		
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m		

Hasta:		PC2					
		Cuadrícula		Local		Global	
Este	675478.6879 m	Latitud	S36°49'53.07798"	Latitud	S36°49'53.07798"		
Norte	5922022.7687 m	Longitud	A73°01'56.08178"	Longitud	A73°01'56.08178"		
Elevación	28.1824 m	Altura	48.4858 m	Altura	48.4858 m		

Vector							
ΔEste	237.3486 m	Acimut Adelante NS	139°33'03"	ΔX	185.0484 m		
ΔNorte	-290.2836 m	Dist. elip	374.9731 m	ΔY	227.1468 m		
ΔElevación	9.7124 m	ΔAltura	9.7298 m	ΔZ	-234.2282 m		

Errores estándar

Errores de vector:							
σ ΔEste	0.0018 m	σ Acimut NS delantero	0°00'01"	σ ΔX	0.0019 m		
σ ΔNorte	0.0017 m	σ Dist. elipsoide	0.0017 m	σ ΔY	0.0045 m		
σ ΔElevación	0.0055 m	σ ΔAltura	0.0055 m	σ ΔZ	0.0036 m		

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000035595		
Y	-0.0000028887	0.0000202935	
Z	-0.0000020196	0.0000133624	0.0000132625

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PC2
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena

Resumen de seguimiento

SV	Segundos intercalados inválidos	Duración: 00:08:00	Intervalo principal: 00:01:56	Segundos intercalados inválidos
G 8	L1 L2			
G 10	L1 L2			
G 16	L1 L2			
G 18	L1 L2			
G 23	L1 L2			
G 26	L1 L2			
G 27	L1 L2			
R 5	L1 L2			
R 10	L1			
R 11	L1 L2			
R 12	L1 L2			
R 20	L1 L2			
R 21	L1 L2			
R 22	L1 L2			

PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PA5 (B7)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0046 m
Precisión vertical:	0.0087 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	2.566
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:15
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De: PR					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta: PA5					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675409.4677 m	Latitud	S36°49'54.49035"	Latitud	S36°49'54.49035"
Norte	5921980.6478 m	Longitud	A73°01'58.83965"	Longitud	A73°01'58.83965"
Elevación	24.5254 m	Altura	44.8265 m	Altura	44.8265 m

Vector					
ΔEste	168.1284 m	Acimut Adelante NS	151°59'30"	ΔX	111.2115 m
ΔNorte	-332.4045 m	Dist. elip	372.5128 m	ΔY	234.9683 m
ΔElevación	6.0554 m	ΔAltura	6.0705 m	ΔZ	-266.8827 m

Errores estándar

Errores de vector:					
σ ΔEste	0.0017 m	σ Acimut NS delantero	0°00'01"	σ ΔX	0.0018 m
σ ΔNorte	0.0018 m	σ Dist. elipsoide		σ ΔY	0.0037 m
σ ΔElevación	0.0044 m	σ ΔAltura		σ ΔZ	0.0030 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

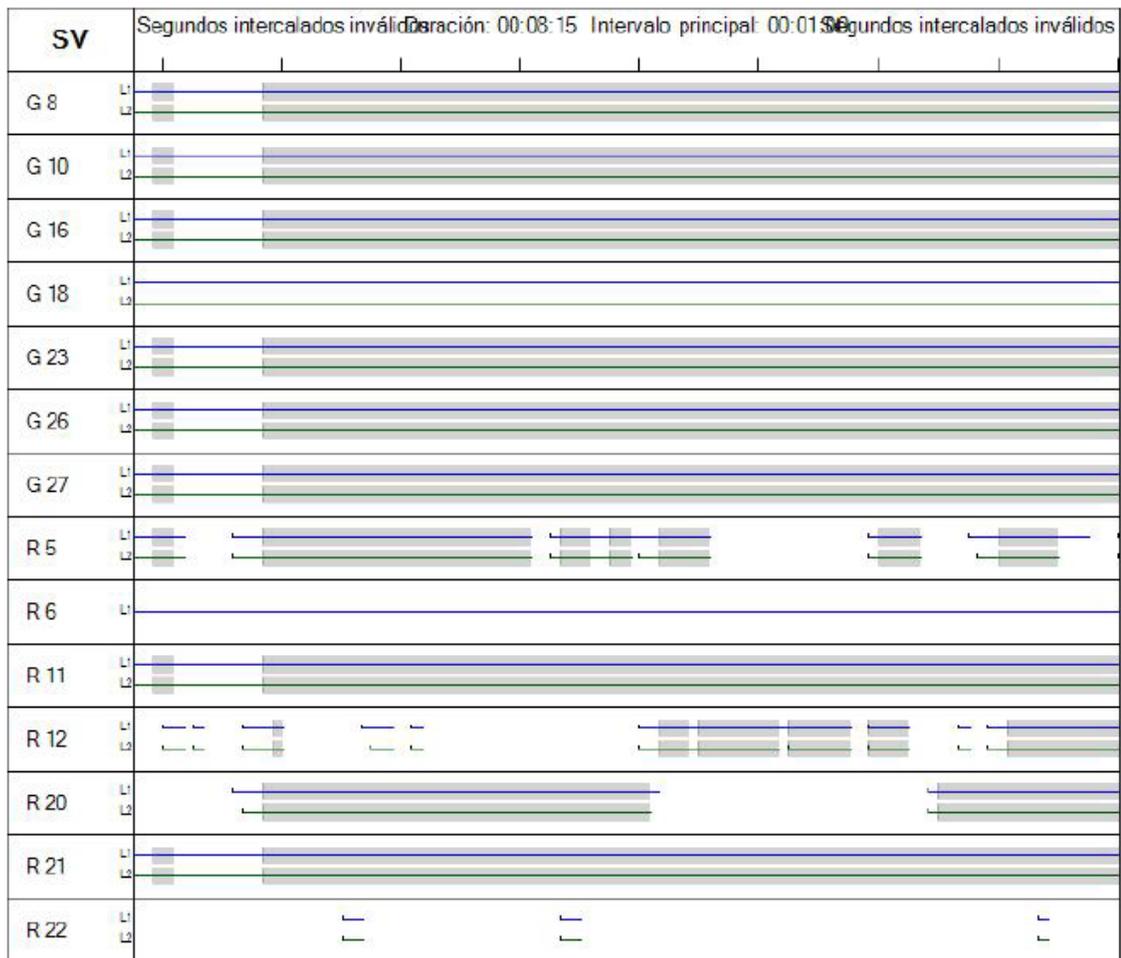
	X	Y	Z
X	0.0000033238		
Y	-0.0000022121	0.0000136537	
Z	-0.0000010544	0.0000078050	0.0000087295

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PA5
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena



Resumen de seguimiento



PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PA6 (B8)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0039 m
Precisión vertical:	0.0070 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	1.895
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:15
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De: PR					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta: PA6					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675376.4899 m	Latitud	S36°49'51.17983"	Latitud	S36°49'51.17983"
Norte	5922083.3970 m	Longitud	A73°02'00.25556"	Longitud	A73°02'00.25556"
Elevación	23.9444 m	Altura	44.2419 m	Altura	44.2419 m

Vector					
ΔEste	135.1506 m	Acimut Adelante NS	148°20'43"	ΔX	95.3678 m
ΔNorte	-229.6553 m	Dist. elip	266.4775 m	ΔY	166.6637 m
ΔElevación	5.4744 m	ΔAltura	5.4859 m	ΔZ	-184.8498 m

Errores estándar

Errores de vector:					
σ ΔEste	0.0014 m	σ Acimut NS delantero	0°00'01"	σ ΔX	0.0016 m
σ ΔNorte	0.0015 m	σ Dist. elipsoide	0.0013 m	σ ΔY	0.0029 m
σ ΔElevación	0.0036 m	σ ΔAltura	0.0036 m	σ ΔZ	0.0025 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

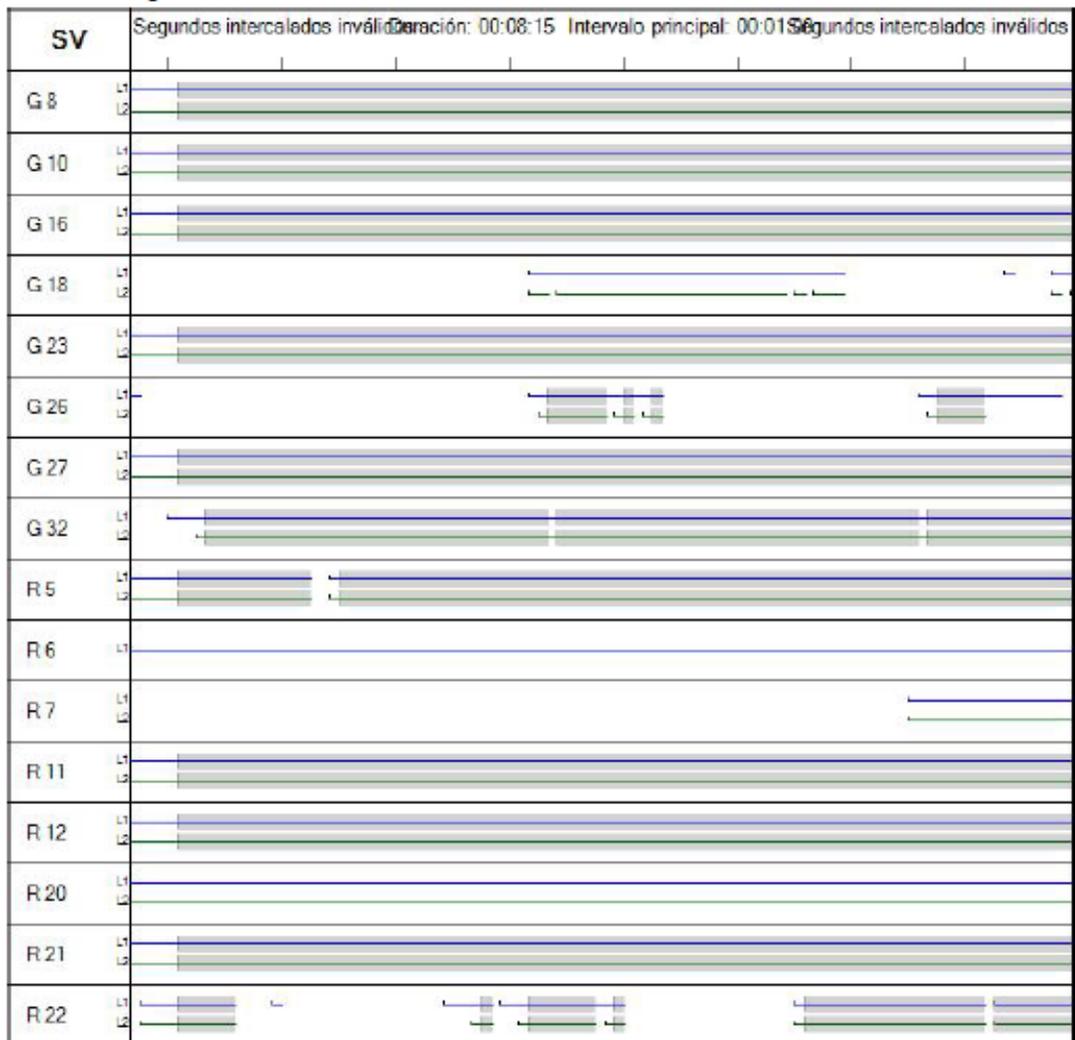
	X	Y	Z
X	0.0000025206		
Y	-0.0000017638	0.0000083277	
Z	-0.0000009392	0.0000051722	0.0000063241

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PA6
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena



Resumen de seguimiento



PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PC3 (B9)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0042 m
Precisión vertical:	0.0070 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	1.557
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:10
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De: PR					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta: PC3					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675255.5039 m	Latitud	S36°49'53.69429"	Latitud	S36°49'53.69429"
Norte	5922008.3603 m	Longitud	A73°02'05.07474"	Longitud	A73°02'05.07474"
Elevación	20.6332 m	Altura	40.9262 m	Altura	40.9262 m

Vector					
Δ Este	14.1646 m	Acimut Adelante NS	176°09'36"	Δ X	-33.1880 m
Δ Norte	-304.6920 m	Dist. elip	305.0276 m	Δ Y	178.7980 m
Δ Elevación	2.1632 m	Δ Altura	2.1702 m	Δ Z	-244.9032 m

Errores estándar

Errores de vector:					
σ Δ Este	0.0016 m	σ Acimut NS delantero	0°00'01"	σ Δ X	0.0018 m
σ Δ Norte	0.0016 m	σ Dist. elipsoide	0.0015 m	σ Δ Y	0.0030 m
σ Δ Elevación	0.0036 m	σ Δ Altura	0.0036 m	σ Δ Z	0.0023 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000033671		
Y	-0.0000025447	0.0000091793	
Z	-0.0000011078	0.0000045809	0.0000051777

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PC3
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena

Resumen de seguimiento

SV	Segundos intercalados inválidos	Operación: 00:08:10	Intervalo principal: 00:01:56	Segundos intercalados inválidos
G 8	L1 L2			
G 10	L1 L2			
G 16	L1 L2			
G 18	L1 L2			
G 21	L1			
G 23	L1 L2			
G 26	L1 L2			
G 27	L1 L2			
G 32	L1 L2			
R 5	L1 L2			
R 6	L1			
R 11	L1 L2			
R 12	L1 L2			
R 20	L1 L2			
R 21	L1 L2			
R 22	L1 L2			

PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PA7 (B10)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0057 m
Precisión vertical:	0.0090 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	1.593
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:35
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De: PR					
	Cuadrícula		Local		Global
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta: PA7					
	Cuadrícula		Local		Global
Este	675212.1364 m	Latitud	S36°49'52.60705"	Latitud	S36°49'52.60705"
Norte	5922042.7741 m	Longitud	A73°02'06.85308"	Longitud	A73°02'06.85308"
Elevación	18.5748 m	Altura	38.8650 m	Altura	38.8650 m

Vector					
ΔEste	-29.2030 m	Acimut Adelante NS	184°59'19"	ΔX	-69.9565 m
ΔNorte	-270.2781 m	Dist. elip	271.8571 m	ΔY	148.3006 m
ΔElevación	0.1048 m	ΔAltura	0.1090 m	ΔZ	-216.8414 m

Errores estándar

Errores de vector:					
σ ΔEste	0.0021 m	σ Acimut NS delantero	0°00'02"	σ ΔX	0.0025 m
σ ΔNorte	0.0020 m	σ Dist. elipsoide	0.0021 m	σ ΔY	0.0039 m
σ ΔElevación	0.0046 m	σ ΔAltura	0.0046 m	σ ΔZ	0.0028 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000063767		
Y	-0.0000049480	0.0000155054	
Z	-0.0000019768	0.0000071025	0.0000076412

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PA7
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena



Resumen de seguimiento

SV	Segundos intercalados inválidos	Duración: 00:08:35	Intervalo principal: 00:01:56	Segundos intercalados inválidos
G 8	L1 L2			
G 10	L1 L2			
G 16	L1 L2			
G 18	L1 L2			
G 21	L1			
G 23	L1 L2			
G 26	L1 L2			
G 27	L1 L2			
G 32	L1 L2			
R 5	L1 L2			
R 6	L1			
R 7	L1 L2			
R 11	L1 L2			
R 12	L1 L2			
R 20	L1 L2			
R 21	L1 L2			
R 22	L1 L2			

PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PA8 (B11)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0043 m
Precisión vertical:	0.0067 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	1.807
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:15
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De:		PR			
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta:		PA8			
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675137.4049 m	Latitud	S36°49'48.75107"	Latitud	S36°49'48.75107"
Norte	5922163.1984 m	Longitud	A73°02'09.96818"	Longitud	A73°02'09.96818"
Elevación	16.6789 m	Altura	36.9629 m	Altura	36.9629 m

Vector					
ΔEste	-103.9345 m	Acimut Adelante NS	213°33'57"	ΔX	-123.4446 m
ΔNorte	-149.8539 m	Dist. elip	182.3733 m	ΔY	59.0796 m
ΔElevación	-1.7911 m	ΔAltura	-1.7931 m	ΔZ	-120.5597 m

Errores estándar

Errores de vector:					
σ ΔEste	0.0016 m	σ Acimut NS delantero	0°00'02"	σ ΔX	0.0020 m
σ ΔNorte	0.0015 m	σ Dist. elipsoide	0.0017 m	σ ΔY	0.0029 m
σ ΔElevación	0.0034 m	σ ΔAltura	0.0034 m	σ ΔZ	0.0020 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000038291		
Y	-0.0000027841	0.0000085249	
Z	-0.0000011343	0.0000038989	0.0000040731

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PA8
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena



Resumen de seguimiento

SV	Segundos intercalados inválidos	Duración: 00:08:15	Intervalo principal: 00:01:56	Segundos intercalados inválidos
G 8	L1 L2			
G 10	L1 L2			
G 16	L1 L2			
G 21	L1			
G 23	L1 L2			
G 27	L1 L2			
G 32	L1 L2			
R 5	L1 L2			
R 6	L1			
R 7	L1 L2			
R 11	L1 L2			
R 12	L1 L2			
R 21	L1 L2			
R 22	L1 L2			

PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PA10 (B12)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0112 m
Precisión vertical:	0.0230 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	2.897
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:07:55
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De:		PR					
		Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"		
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"		
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m		

Hasta:		PA10					
		Cuadrícula		Local		Global	
Este	675205.2991 m	Latitud	S36°49'43.30371"	Latitud	S36°49'43.30371"		
Norte	5922329.7562 m	Longitud	A73°02'07.36704"	Longitud	A73°02'07.36704"		
Elevación	18.5395 m	Altura	38.8234 m	Altura	38.8234 m		

Vector							
ΔEste	-36.0403 m	Acimut Adelante NS	293°41'19"	ΔX	-31.9870 m		
ΔNorte	16.7040 m	Dist. elip	39.7240 m	ΔY	-19.8163 m		
ΔElevación	0.0695 m	ΔAltura	0.0674 m	ΔZ	12.7344 m		

Errores estándar

Errores de vector:					
$\sigma \Delta$ Este	0.0030 m	σ Acimut NS delantero	0°00'23"	$\sigma \Delta X$	0.0040 m
$\sigma \Delta$ Norte	0.0046 m	σ Dist. elipsoide	0.0032 m	$\sigma \Delta Y$	0.0089 m
$\sigma \Delta$ Elevación	0.0117 m	$\sigma \Delta$ Altura	0.0117 m	$\sigma \Delta Z$	0.0086 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000161021		
Y	-0.0000222356	0.0000783241	
Z	-0.0000164607	0.0000568660	0.0000732382

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PA10
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena



Resumen de seguimiento

SV	Segundos intercalados inválidos	Duración: 00:07:55	Intervalo principal: 00:01:56	Segundos intercalados inválidos
G 8	L1 L2			
G 10	L1 L2			
G 16	L1 L2			
G 21	L1			
G 23	L1 L2			
G 27	L1 L2			
G 32	L1 L2			
R 5				
R 6	L1			
R 7	L1 L2			
R 11	L1 L2			
R 12	L1 L2			
R 20	L1 L2			
R 21	L1 L2			
R 22	L1 L2			

PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PC4 (B13)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0044 m
Precisión vertical:	0.0086 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	2.901
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:07:55
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De:		PR			
	Cuadrícula		Local		Global
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta:		PC4			
	Cuadrícula		Local		Global
Este	675221.0110 m	Latitud	S36°49'47.09678"	Latitud	S36°49'47.09678"
Norte	5922212.4849 m	Longitud	A73°02'06.63582"	Longitud	A73°02'06.63582"
Elevación	38.8329 m	Altura	59.1200 m	Altura	59.1200 m

Vector					
ΔEste	-20.3283 m	Acimut Adelante NS	190°14'58"	ΔX	-30.3660 m
ΔNorte	-100.5674 m	Dist. elip	102.6036 m	ΔY	36.9716 m
ΔElevación	20.3629 m	ΔAltura	20.3640 m	ΔZ	-93.0234 m

Errores estándar

Errores de vector:					
$\sigma \Delta Este$	0.0017 m	σ Acimut NS delantero	0°00'03"	$\sigma \Delta X$	0.0023 m
$\sigma \Delta Norte$	0.0017 m	σ Dist. elipsoide	0.0017 m	$\sigma \Delta Y$	0.0038 m
$\sigma \Delta Elevación$	0.0044 m	$\sigma \Delta$ Altura	0.0044 m	$\sigma \Delta Z$	0.0024 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

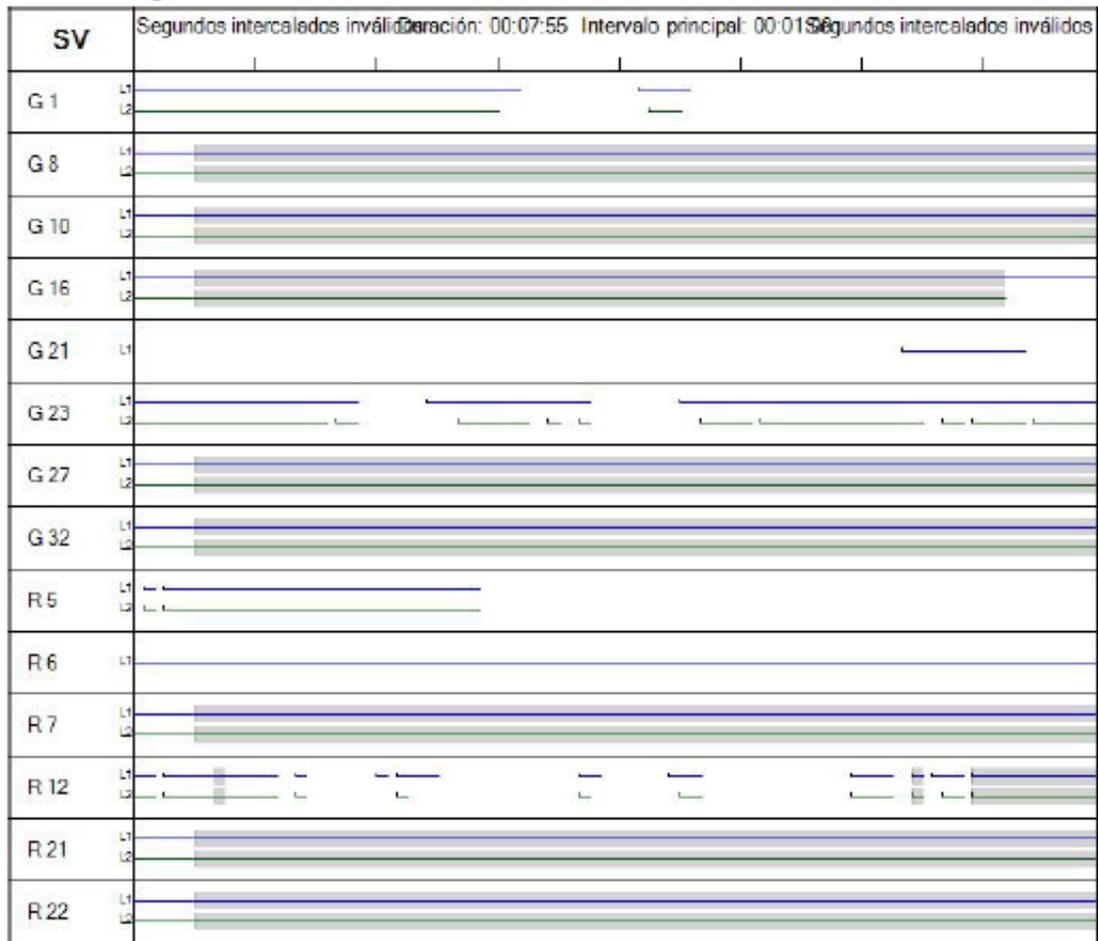
	X	Y	Z
X	0.0000052311		
Y	-0.0000054169	0.0000143176	
Z	-0.0000031207	0.0000062467	0.0000056480

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PC4
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena



Resumen de seguimiento



PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PA9 (B14)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0044 m
Precisión vertical:	0.0080 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	2.480
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:15
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De: PR					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta: PA9					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675122.4749 m	Latitud	S36°49'45.04290"	Latitud	S36°49'45.04290"
Norte	5922277.8358 m	Longitud	A73°02'10.66562"	Longitud	A73°02'10.66562"
Elevación	16.4205 m	Altura	36.7013 m	Altura	36.7013 m

Vector					
ΔEste	-118.8645 m	Acimut Adelante NS	252°19'07"	ΔX	-120.0444 m
ΔNorte	-35.2164 m	Dist. elip	123.9743 m	ΔY	-11.3029 m
ΔElevación	-2.0495 m	ΔAltura	-2.0547 m	ΔZ	-28.9071 m

Errores estándar

Errores de vector:					
σ ΔEste	0.0017 m	σ Acimut NS delantero	0°00'02"	σ ΔX	0.0024 m
σ ΔNorte	0.0016 m	σ Dist. elipsoide	0.0018 m	σ ΔY	0.0033 m
σ ΔElevación	0.0041 m	σ ΔAltura	0.0041 m	σ ΔZ	0.0024 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000055290		
Y	-0.0000052988	0.0000108130	
Z	-0.0000034358	0.0000056868	0.0000059712

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PA9
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena

Resumen de seguimiento

SV	Segundos intercalados inválidos	Duración: 00:08:15	Intervalo principal: 00:01:56	Segundos intercalados inválidos
G 1	L1 L2			
G 8	L1 L2			
G 10	L1 L2			
G 16	L1 L2			
G 21	L1			
G 27	L1 L2			
G 32	L1 L2			
R 6	L1			
R 7	L1 L2			
R 8	L1 L2			
R 12	L1 L2			
R 13	L1 L2			
R 21	L1 L2			
R 22	L1 L2			



PR (Segundos intercalados inválidos-Segundos intercalados inválidos) (S1)

Observación de línea base:	PC5 (B15)
Procesados:	Segundos intercalados inválidos
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.0152 m
Precisión vertical:	0.0338 m
RMS:	0.0377 m
PDOP máximo:	8.499
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	Segundos intercalados inválidos (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	00:08:00
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De:		PR			
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675241.3394 m	Latitud	S36°49'43.82144"	Latitud	S36°49'43.82144"
Norte	5922313.0522 m	Longitud	A73°02'05.89909"	Longitud	A73°02'05.89909"
Elevación	18.4700 m	Altura	38.7560 m	Altura	38.7560 m

Hasta:		PC5			
Cuadrícula		Local		Global	
Este	675345.8540 m	Latitud	S36°49'48.22224"	Latitud	S36°49'48.22224"
Norte	5922175.2161 m	Longitud	A73°02'01.56788"	Longitud	A73°02'01.56788"
Elevación	35.7747 m	Altura	56.0687 m	Altura	56.0687 m

Vector					
Δ Este	104.5146 m	Acimut Adelante NS	141°39'02"	Δ X	82.9742 m
Δ Norte	-137.8361 m	Dist. elip	172.9838 m	Δ Y	95.8455 m
Δ Elevación	17.3047 m	Δ Altura	17.3127 m	Δ Z	-118.9642 m

Errores estándar

Errores de vector:					
σ Δ Este	0.0057 m	σ Acimut NS delantero	0°00'04"	σ Δ X	0.0090 m
σ Δ Norte	0.0031 m	σ Dist. elipsoide	0.0055 m	σ Δ Y	0.0102 m
σ Δ Elevación	0.0172 m	σ Δ Altura	0.0172 m	σ Δ Z	0.0124 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000807200		
Y	-0.0000897481	0.0001047527	
Z	-0.0001082811	0.0001237240	0.0001534586

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	PR	PC5
Archivo de datos:	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\00340240.T02	C:\Users\ALUMNOS\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\02120240.T02
Tipo de receptor:	R8s	R8s
Número de serie del receptor:	5747R00034	5806R00212
Tipo de antena:	R8s Internal	R8s Internal
Número de serie de la antena:	-----	-----
Altura de la antena (medida):	1.3275 m	2.0000 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Base del soporte de la antena

Resumen de seguimiento

SV	Segundos intercalados inválidos	Paración: 00:08:00	Intervalo principal: 00:01:56	Segundos intercalados inválidos
G 8	L1 L2			
G 10	L1 L2			
G 21	L1			
G 27	L1 L2			
G 32	L1 L2			
R 6	L1			
R 7	L1 L2			
R 8	L1			
R 21	L1 L2			
R 22	L1 L2			



ANEXO B: REPORTE POST-PROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO PIX4D

Summary



Project	PUNTOS DE CONTROL 110
Processed	2023-04-04 13:38:32
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.28 cm / 1.29 in
Time for Initial Processing (without report)	02h:16m:15s

Quality Check



🔍 Images	median of 52423 keypoints per image	✅
🔍 Dataset	335 out of 342 images calibrated (97%), all images enabled, 3 blocks	⚠️
🔍 Camera Optimization	0.08% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✅
🔍 Matching	median of 12486.4 matches per calibrated image	✅
🔍 Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠️

Calibration Details



Number of Calibrated Images	335 out of 342
Number of Geolocated Images	342 out of 342

🔍 Initial Image Positions

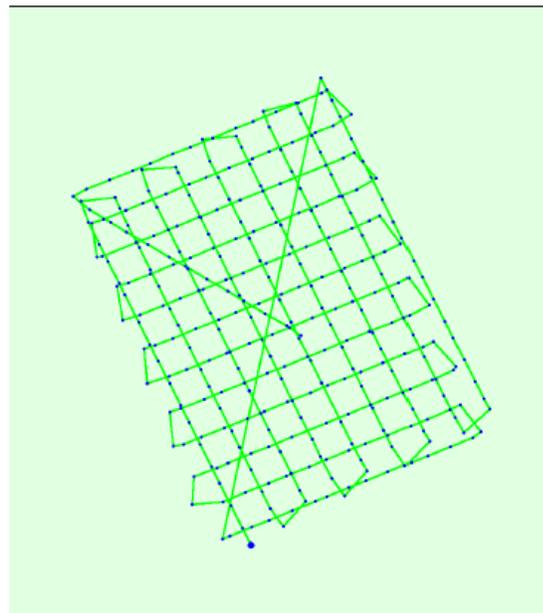
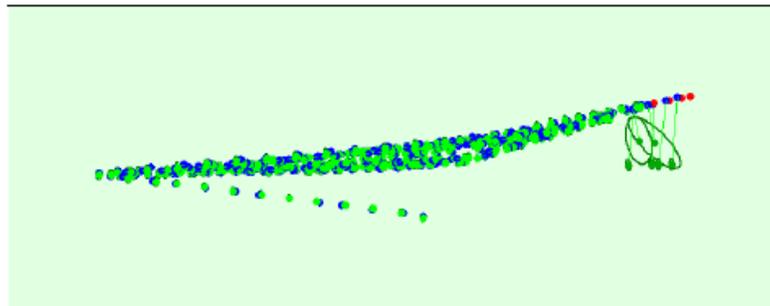
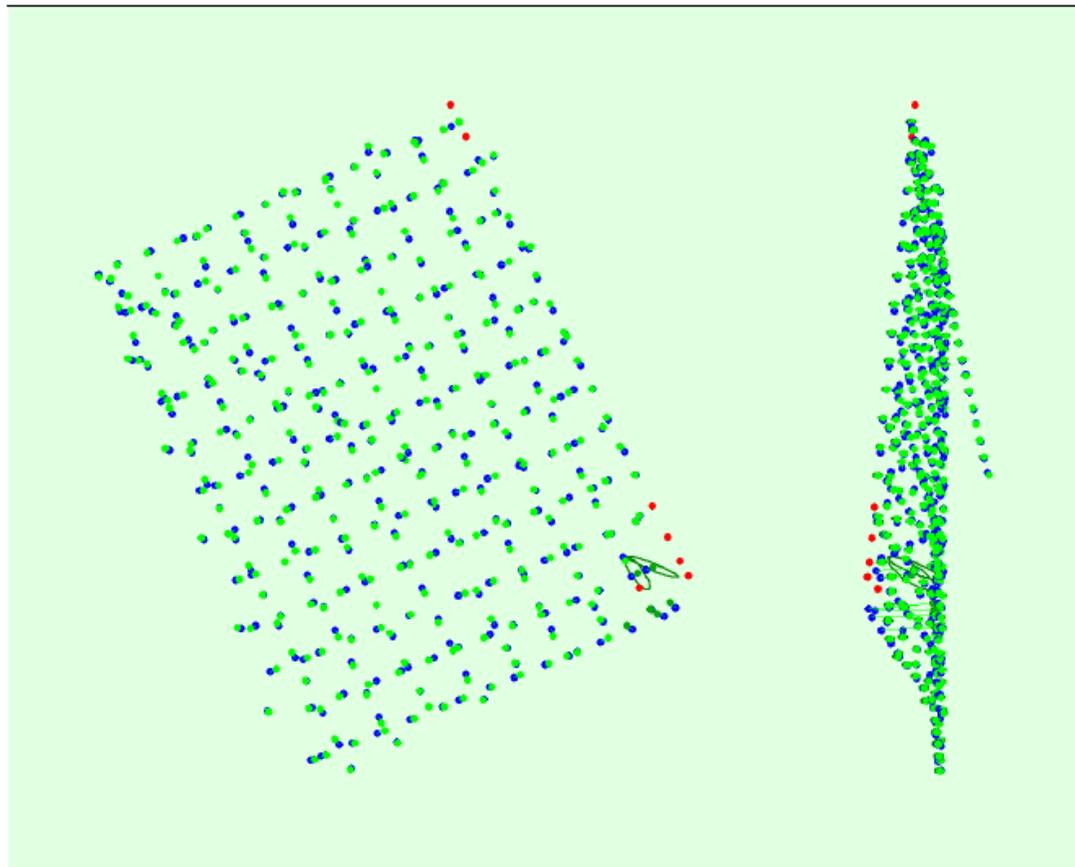


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.



Uncertainty ellipses 10x magnified

Figure 3: Offset between Initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs Initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.203	0.200	0.376	0.075	0.074	0.044
Sigma	0.151	0.106	0.175	0.072	0.062	0.059

Bundle Block Adjustment Details

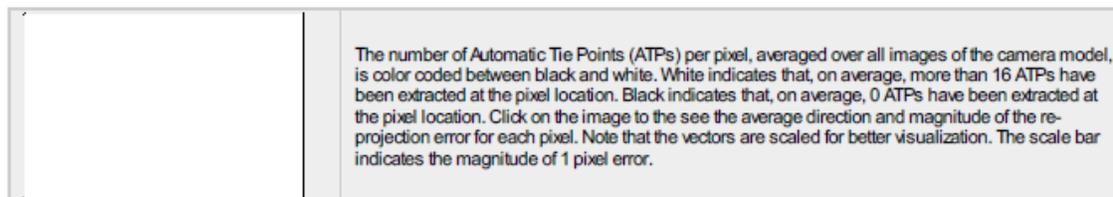
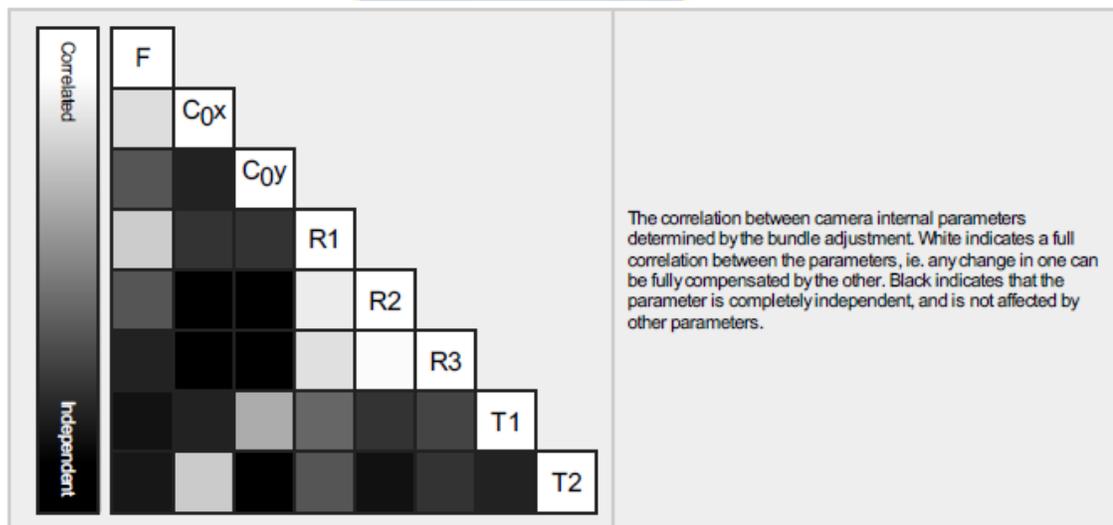
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	3964229
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1435291
Mean Reprojection Error [pixels]	0.229

Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3665.632 [pixel] 8.597 [mm]	2755.371 [pixel] 6.462 [mm]	1805.917 [pixel] 4.235 [mm]	0.002	-0.006	0.005	-0.002	0.003
Uncertainties (Sigma)	0.927 [pixel] 0.002 [mm]	0.096 [pixel] 0.000 [mm]	0.075 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	52423	12486
Mn	24354	195
Max	79811	26341
Mean	52695	11834

2D Keypoint Matches

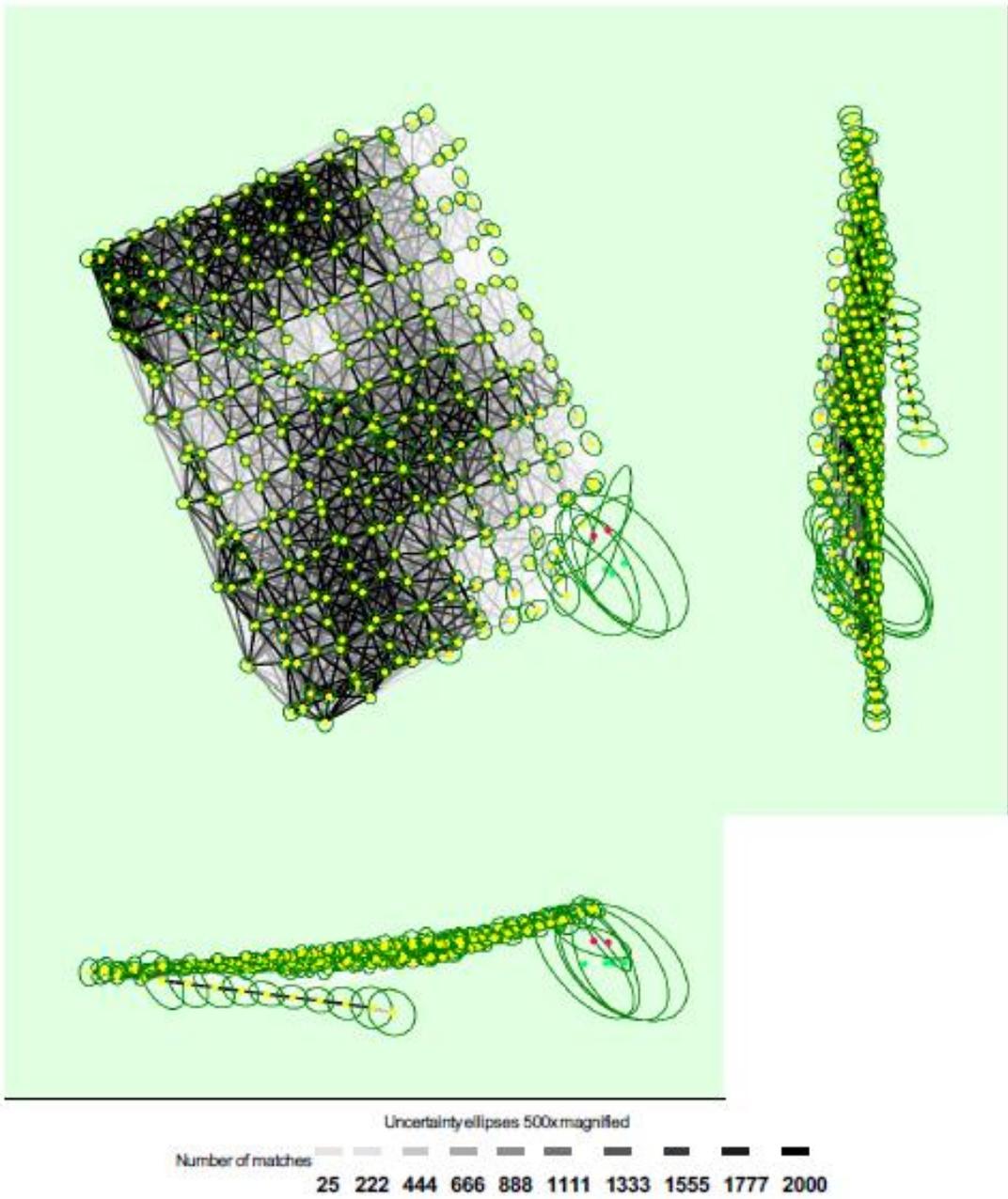


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.017	0.017	0.015	0.011	0.010	0.006
Sigma	0.013	0.016	0.014	0.008	0.012	0.016

Geolocation Details



? Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	6.99	3.34	0.00
-6.00	-3.00	13.07	10.33	0.00
-3.00	0.00	27.36	36.78	57.14
0.00	3.00	33.43	34.04	41.34
3.00	6.00	13.68	10.64	1.52
6.00	9.00	5.47	4.86	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.000082	0.000064	-0.000128
Sigma [m]		3.575986	3.171091	1.248556
RMS Error [m]		3.575986	3.171091	1.248556

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.



? Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	82.37	85.41	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.044
Phi	0.890
Kappa	2.597

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i5-10400 CPU @ 2.90GHz RAM: 16GB GPU: AMD Radeon(TM) RX 6500 XT (Driver: 30.0.15021.11005)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM, zone 18S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	3D Models
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	15m:55s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	06m:52s

Results



Number of Processed Clusters	3
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	16055592
Average Density (per m ³)	86.17

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.28 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	11m:08s
Time for Orthomosaic Generation	35m:27s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s



ANEXO C: DATOS LEVANTAMIENTO CON ESTACION TOTAL

PUNTO	X	Y	Z
PR	675.241.339	5.922.313.052	18.470
PV	675.240.593	5.922.329.118	17.936
PM1	675.275.055	5.922.331.155	24.846
PA1	675.294.419	5.922.361.404	28.099
PM3	675.372.585	5.922.307.527	36.912
PM4	675.406.978	5.922.260.886	42.143
PA2	675.447.474	5.922.301.299	43.570
PA3	675.511.668	5.922.279.584	45.041
PM5	675.540.266	5.922.150.715	43.657
PM6	675.522.218	5.922.130.256	41.515
PA4	675.500.493	5.922.099.157	37.543
PM7	675.468.124	5.922.011.157	27.098
PM8	675.455.062	5.921.994.345	26.480
PA5	675.408.992	5.921.980.223	24.451
PA6	675.376.036	5.922.083.065	23.853
PM9	675.365.269	5.922.074.915	23.314
PM10	675.247.718	5.922.013.555	20.211
PA7	675.211.839	5.922.041.791	18.478
PA8	675.136.615	5.922.161.921	16.583
PM12	675.096.316	5.922.242.567	16.165
PA9	675.121.214	5.922.276.489	16.293
PM13	675.155.578	5.922.323.920	16.449
PM14	675.172.696	5.922.347.269	16.413
PA10	675.203.747	5.922.328.645	18.380
PR1	675.239.839	5.922.312.096	18.399

ANEXO D: COTIZACIONES EQUIPOS Y HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

Sistema GNSS Trimble R12i LT Flex – Colector Trimble TDC 600

Incluye lo siguiente:

- *2 Receptores GNSS c/Radio Interna 410-470 MHz*
- *Configuración Modo Base GNSS Flex*
- *Configuración Modo Móvil GNSS Flex*
- *2 Adaptadores de Montaje Rápido (0.05m)*
- *Extensión para Estación Base (0.15m) con Dispositivo de Medición de Altura*
- *2 Antenas de Radio UHF con Conector SMA Connector (410-470 MHz, 0 dB)*
- *4 Baterías Recargable (7.4V, 3700 mAh, 27.3 Wh)*
- *Cargador Doble de Batería con Fuente de Poder y Cable*
- *2 Cables USB (7P Lemo a USB-A Hembra)*
- *2 Cables USB "Y" para Datos y Poder (7P Lemo to USB-A Macho y Poder)*
- *2 Maletas de Transporte (Solo Receptor)*
- *Cinta de Medición Métrica*
- *Extensión de Jalón de 25 cm*
- *Trimble TDC 600 c/Trimble Access GNSS*
- *Soporte para Jalón (vertical / horizontal)*
- *Trimble Business Center Intermediate - Licencia con Llave*
- *Base tribach con adaptador*
- *Tripode fibra madera*
- *Jalón de Fibra de Carbono de 2.0m*
- *Capacitación en Santiago o vía online sin costo*

Sistema GNSS Trimble R12i LT Flex - Colector Trimble TDC 600

USD 20.375 + IVA

Capacitación sin costo, despacho gratuito y soporte técnico ilimitado

ESTACIÓN TOTAL PENTAX R-202 2"

Incluye:

- 01 Estación total
- 02 Baterías
- 01 Cargador de batería
- 01 Cable transmisión de datos
- Maleta de transporte
- Manual de Instrucciones
- Certificado de Calibración



KIT

- 01 Trípode de madera
- 01 Jalón de 2.60m
- 01 Prisma con porta prisma
- 01 calibración anual

Características generales	R-202NS 2"
Precisión Angular	2"
Precisión en distancia	$\pm(2 + 2\text{ppm} \times D)\text{mm}$
Alcance con un solo prisma	Hasta 3000m
Alcance sin prisma	Hasta 300m
Aumento	30X
Enfoque mínimo	1m
Memoria de Puntos	25.000 puntos
Protección al polvo y humedad	IP56
Comunicación	RS-232; SD card, USB mini tipo B, Bluetooth clase 2.
Autonomía	10 horas
Alimentación	2 Baterías Ion-Litio

VALOR KIT: \$ 3.290.000+ IVA



DJI Phantom 4 RTK

La venta del Kit completo del UAS DJI Phantom 4 RTK incluye lo siguiente:

- 1 Plataforma DJI Phantom 4 RTK
- 1 Control remoto DJI con tablet integrado
- 2 Baterías del dron
- 1 Batería del control remoto
- 1 Maleta de transporte
- 1 Cargador
- 3 cables USB
- 2 juegos de hélices
- Capacitación online en operación de vuelo y componentes del sistema
- Despacho gratuito

Phantom 4 RTK
\$ 3.990.000 + IVA
DJI Phantom 4 RTK

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN - FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Metalúrgica
 Hoja Resumen Memoria de Título

Título: "ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA TOPOGRAFÍA CLÁSICA CON ESTACIÓN TOTAL Y LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT) EN MINERÍA A CIELO ABIERTO"		
Nombre Memorista: FABIÁN ANTONIO OJEDA MOLINA		
Modalidad	Investigación	Profesor (es) Patrocinante (s)
Concepto	MUY BUENO	 Prof. Frank Tinapp D.
Calificación	6.3	
Fecha	30.06.2023	
 Prof. René Gómez P.		 Prof. Ramón Díaz N.
		Ingeniero Supervisor:
		Institución: Universidad de Concepción
Comisión (Nombre y Firma)		
Prof. Oscar Cifuentes Z.		
Resumen		
<p>La memoria de título describe un estudio comparativo entre la topografía de estación total y la fotogrametría de drones en minería a cielo abierto. El estudio tuvo como objetivo analizar las ventajas y desventajas de ambos métodos. El estudio utilizó un posicionamiento GNSS diferencial para obtener datos confiables para una comparación basada en la precisión de ambos métodos. El estudio también analizó el tiempo requerido para cada método y evaluó los costos de inversión. Los resultados mostraron que la fotogrametría fue más precisa que la topografía, y el tiempo requerido para ambos métodos fue similar. Los costos de inversión para la fotogrametría fueron ligeramente superiores a los de la topografía. El estudio concluyó que la fotogrametría es una alternativa rápida y económica para levantamientos topográficos en áreas extensas, con la capacidad de obtener precisiones geográficas centimétricas, que es casi insignificante en la minería a gran escala. La fotogrametría puede llegar a zonas inaccesibles, no entorpece el proceso productivo y no pone en riesgo el capital humano.</p>		