

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.Introducción

Un levantamiento Aero fotogramétrico con Drones se basa en la utilización de los rayos de la luz del sol reflejados por los objetos de la superficie de la tierra. Dichos rayos, llamados también reflectancia, son capturados en fotografías aéreas por el combo cámara-GPS instalado en un Dron. Las medidas de los objetos, incluyendo la altura del terreno se calculan a partir de la fotogrametría.

La topografía clásica ha representado la solución cuando por exigencias de precisión y detalle se requieren. Ya que los planos topográficos cumplen con muchas funciones dentro de la ingeniería en las cuales tenemos los replanteos, el diseño o modificación de obras civiles, los movimientos de tierra, los cálculos de volumen, uso del suelo, venta de terrenos, entre otros.

Los estudios fotogramétricos a partir de Drones han representado un extraordinario apoyo a la topografía, debido a que en una medida de tiempo y costos son relativamente inferiores a un levantamiento topográfico convencional, generando de esta forma, productos geospaciales de gran precisión y contenido.

El levantamiento fotogramétrico mediante el Dron, para generar un modelo digital del terreno es una tecnología moderna que viene siendo aplicada en Servicios Topográficos, hidrográficos, y estudios de restituciones de fotogrametría referenciales, de países desarrollados, por lo que este trabajo de investigación va orientado a establecer la conveniencia o no de la utilización del dron, para la generación de la topografía en obras viales.

La idea central de la investigación, pretende explicar las dimensiones de la aplicación del dron como apoyo a los levantamientos topográficos para movimiento de tierra en obras viales.

El proyecto consiste en realizar un vuelo fotogramétrico de 5.997 kilómetros de una obra vial y obtener un producto cartográfico. Este producto consiste en una ortofotografía de

la zona en estudio y un modelo tridimensional de la misma, para así comparar los volúmenes con un levantamiento topográfico clásico realizado con estación total.

Una vez finalizado todo el proceso se debería obtener una comparación de volúmenes del movimiento de tierras de toda la zona en estudio, que permita valorar si el uso de la aerofotogrametría es factible para este tipo de aplicaciones.

La presente investigación tiene la importancia de permitir obtener una cartografía de barrido detallada destinada a movimiento de tierras en obras viales y proporcionando Modelos Digitales de Terreno (MDT) que beneficie a la sociedad. Ahorrando, costos y tiempo de ejecución de las mismas.

1.2. Justificación

La ingeniería civil ha tenido desde sus inicios el compromiso de proyectar, diseñar, analizar, construir y dar mantenimiento a proyectos que satisfagan en funcionalidad y confiabilidad las necesidades de una población o comunidad.

Una etapa importante en el diseño y ejecución de los proyectos de obra civil es el análisis de la topografía del lugar donde se emplazarán estos proyectos, pues es necesario conocer la planimetría y altimetría del terreno.

Según las características de cada proyecto se presentan limitaciones de tiempo y recursos y la elección del equipo y metodología de trabajo son claves en el éxito del mismo.

La fotogrametría es el conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales podemos deducir de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones del mismo; el levantamiento fotogramétrico es la aplicación de la fotogrametría a la topografía.

La aplicación de vehículos aéreos no tripulados (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) en la ejecución de levantamientos topográficos es una técnica novedosa, y el uso de Drones (UAV de menor tamaño), los cuales han incrementado de forma constante su popularidad y accesibilidad para el público desde hace pocos años, es aún más novedosa.

El uso de Drones para trabajos civiles tiene un mayor uso en países desarrollados conforme pasa el tiempo, sin embargo, en Bolivia el uso de esta tecnología es aún desconocido para muchos y gran parte de los profesionales de la ingeniería civil.

dedicados al área de la topografía no conocen el procedimiento que se lleva a cabo para la obtención y procesamiento de datos que permitan analizar la superficie del terreno por medio de fotografías aéreas obtenidas con este equipo.

Adquirir los conocimientos necesarios sobre la fotogrametría aérea en levantamientos topográficos a través del uso de Drones permitirá al ingeniero civil dedicado a la medición y representación de terrenos conocer las bondades de la implementación de la técnica y tener una nueva visión sobre la facilidad de adquirir información de la superficie terrestre mediante un método moderno obteniendo resultados confiables en tiempos menores que los requeridos por métodos directos de medición topográfica.

Con la ejecución de este trabajo de grado se demostrarán que el uso de vehículos aéreos no tripulados en la obtención de fotografías, se puede conseguir nubes de puntos de alta resolución que muestran la apariencia real del terreno.

Además, se proporcionarán los conocimientos necesarios para que el lector pueda planificar y ejecutar por su cuenta un proyecto de vuelo fotogramétrico utilizando Drones, siendo así capaz de hacer uso, en las situaciones adecuadas, de los últimos instrumentos presentados como una alternativa a los levantamientos topográficos clásicos.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Ejecutar levantamientos topográficos mediante topografía clásica y moderna (drones), aplicando técnicas de recolección de datos en campo para ambos métodos, para volúmenes de movimiento de tierra en obras viales, para compararlos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar las bases teóricas de la fotogrametría, el uso del Dron en la topografía, siguiendo un procedimiento paso a paso del levantamiento y las implicaciones prácticas de levantamientos clásicos con estación total.
- Obtener la superficie topográfica aplicando un adecuado proceso de aerofotogrametría con dron y la superficie topográfica por el método de topografía clásica con estación total.
- Determinar el volumen de movimiento de tierras, aplicando topografía con dron y por el método levantamiento topográfico clásico con estación total.
- Comparar el procedimiento de realización de los levantamientos para movimiento de tierras bajo las dos formas.
- Calcular su porcentaje de variación de los volúmenes obtenidos de ambos levantamientos topográficos.
- Evaluar su relación y correlación usando como variables el volumen de movimiento de tierra de la topografía moderna y el volumen de movimiento de tierra de la topografía clásica.
- Determinar la conveniencia del uso de modelos digitales para movimiento de tierra en obras viales.

1.4.Planteamiento del problema

1.4.1. Situación problemática

La aplicación del dron para levantamientos topográficos para obras viales en movimiento de tierra, no solo busca brindar apoyo para el topógrafo, sino que, por medio de la aplicación de los diferentes métodos de levantamientos topográficos y el uso de esta tecnología, se permita identificar en qué casos se puede aprovechar de mejor manera cada una de estas herramientas, con el fin de disminuir los errores, tiempos y mejorar los procesos que actualmente se emplean.

En la actualidad la tecnología de Drones está transformando muchos campos en los que la fotografía aérea es una alternativa para medición y procesamiento, mediante imágenes

y aplicando técnicas fotogramétricas. Midiendo puntos de apoyo y procesando las imágenes aéreas con un software específico, para crear modelos digitales de elevación, mosaicos orto rectificadas y georreferenciadas además de nubes de puntos de alta resolución, modelos en 3D con precisión centimétrica que permiten el cálculo de curvas de nivel, medición de áreas y volúmenes y diversos productos que muestran la apariencia real del terreno.

El levantamiento moderno con dron es una buena técnica cuando se requiera, realizar el levantamiento topográfico y relevamiento en tiempo real de zonas peligrosas o de difícil acceso y superar obstáculos diversos, de forma automatizada y sin poner en riesgo la seguridad personal.

En la actualidad es un sistema de trabajo muy práctico que permite, obtener resultados de manera inmediata.

1.4.2. Problema

¿Cuál es la mejor opción para realizar levantamientos topográficos para obras viales en movimiento de tierra comparando topografía clásica vs topografía moderna?

1.5.Hipótesis

Si se hace un análisis de la comparación de un método clásico, con el método de fotogrametría obtenida por el Dron para el estudio topográfico, se podrá obtener la información técnica necesaria para determinar la conveniencia y eficiencia en el uso de uno u otro método para cálculo de volúmenes en movimiento de tierra.

1.6.Identificación de variables

Identificamos dos tipos de variables:

1.6.1. Variable dependiente

Levantamiento topográfico aplicado a volúmenes de movimiento de tierra

1.6.2. Variable independiente

Levantamiento topográfico.

1.7. Cuadro de variables

Variables	Concepto	Utilidad		Med.	Unid.	
Independiente levantamiento topográfico.	Se realizan para localizar objetos y medir el relieve, los accidentes del terreno o las variaciones tridimensionales de la superficie terrestre. (edificios, caminos, corrientes, etc).	Es el conjunto de operaciones necesarias que tiene por objeto la determinación de la posición relativa de puntos en la superficie de la tierra. Estas operaciones consisten, esencialmente, en la medición de ángulos y distancias entre los diversos puntos a levantar el complemento de este tipo de levantamientos es el cálculo matemático para determinar a partir de esos observables medidos (ángulos y distancias), posiciones, alineaciones, orientaciones, desniveles, alturas, áreas y volúmenes. Además la mayoría de los datos de campo pueden representarse gráficamente, en forma de mapas o planos, perfiles transversales y longitudinales, diagramas, etc.		m2	m2	
Dependiente levantamiento topográfico aplicado a volúmenes de movimiento de tierras.	Acción que provoca las alteraciones necesarias para llegar al nivel de croquis de la subrasante.	tipo de equipo	estación total	Aparato electro-óptico, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.	m3	m3
			dron	Con un dron, es posible llevar a cabo levantamientos topográficos de la misma calidad que aquellos realizados recopilando medidas de alta precisión a través de levantamientos topográficos tradicionales, aunque en una fracción del tiempo.		
		Tipo de actividad	Levantamiento topográfico para volúmenes en movimiento de tierra.	Estación total	Teniendo este tipo de equipo se puede llevar a cabo una nivelación trigonométrica Se determina para cada punto de la sección transversal su distancia vertical y distancia horizontal con respecto al eje de la vía, donde debe ubicarse la estación.	
				dron	calcula el movimiento de tierra en una fecha y se puede comparar con otra basándonos en los modelos digitales del terreno obtenidos en cada medición.	

1.8.Diseño metodológico

1.8.1. Unidades de estudio y decisión muestral

Los elementos que serán estudiados en el proyecto es la comparación de volúmenes en movimiento de tierras obteniendo perfiles transversales, utilizando como herramientas fundamentales la estación total como método clásico y dron como método moderno para así determinar cuál es el método más conveniente para realizar levantamientos topográficos para obras viales.

1.8.1.1. Unidades de estudio

Estudios topográficos para obtener los volúmenes para movimiento de tierra.

1.8.1.2. Población

Se realizará un levantamiento topográfico en un tramo de 5.997 km de la segunda circunvalación (av. Ecológica) con dos métodos clásico y moderno para una obra vial usando estación total y dron en donde se definirá cual es la mejor opción para obtener las secciones transversales, se obtendrá los volúmenes en movimiento de tierra y realizar una comparación entre ambos métodos.

1.8.1.3. Muestra

La comparación de los volúmenes cada 20 m del tramo de estudio, obtenido de secciones transversales realizados con levantamientos topográficos para movimiento de tierra con los dos instrumentos fundamentales estación total y dron en una obra vial que parte de pampa galana hasta la ruta que dirige al chaco “avenida ecológica” se realizara un tramo de aproximadamente 5.997 km.

1.8.1.4. Muestreo

Se realizará dos levantamientos topográficos en una obra vial obteniendo secciones transversales para realizar una comparación de volúmenes en movimiento de tierra con dron como topografía moderna y estación total como método clásico ambos levantamientos se realizarán en el mismo lugar partiendo de pampa galana y así decidir cuál es la mejor opción para realizar dicha actividad, después de obtener los datos necesarios se procederá a realizar la comparación para definir que método es el más

factible y viable en cuanto a tiempo y confiabilidad, para ver si cumplen con los parámetros que exige la topografía.

1.8.2. Métodos y técnicas empleadas

1.8.2.1. Métodos

El proyecto se realizará por el método inductivo, ya que opera realizando generalizaciones amplias apoyándose en observaciones específicas. Esto es así porque en el razonamiento inductivo las premisas son las que proporcionan la evidencia que dota de veracidad una conclusión.

El método inductivo, como tal, sigue una serie de pasos. Inicia por la observación de determinados hechos, los cuales registra, analiza y contrasta. A continuación, clasifica la información obtenida, establece patrones, hace generalizaciones, para inferir, de todo lo anterior, una explicación o teoría.

El método es relativamente flexible y, por el otro, se presta para la exploración. Este método es utilizado, sobre todo, para formular teorías e hipótesis.

1.8.2.2. Técnicas

La técnica será la realización de la práctica en campo y obtención de datos, mediante dos levantamientos topográficos para obras viales obteniendo perfiles transversales para el cálculo de volúmenes en movimiento de tierra se realizará una comparación entre ambos métodos convencional y moderno, para obtener mencionados resultados se realizarán las siguientes acciones: levantamiento topográfico en obra vial en donde se realizará toda la parte práctica se realizara dos veces una con estación total y otra con dron una vez concluida la parte práctica analizaremos y realizando obtendremos resultados en gabinete y por último se ilustrara de manera gráfica los resultados en los planos

Utilizaremos como equipo:

Estación total

La estación total está dotada de un emisor de ondas electromagnéticas para la medida de distancias. Como elemento complementario se usa un trípode, también se precisa de un prisma reflector que se sitúa en el punto al que se quiere evaluar la distancia. También

suelen ir equipadas de pequeños ordenadores, que automáticamente calculan las distancias reducidas y desniveles, coordenadas, cotas, etc.

Se realizará un Recorrido preliminar en el sitio, ubicando lugares estratégicos, continuando se procederá a la Instalación y nivelación del equipo, Después de haber georreferenciado el aparato, se procede a tomar medidas, lo cual consiste en situar el prisma en los puntos a medirse realizará cambio de lugar al equipo cada vez que sea necesario. Al hacer un cambio de estación, es necesario ubicar un lugar estratégico para dominar el mayor número posible de puntos de interés. Antes del cambio de estación, se situarán dos puntos de control, cercanos entre ellos, para orientar la nueva posición con coordenadas conocidas. Para evitar que haya un desfase en las coordenadas, terminando el trabajo en campo se descargara los datos para conocer las coordenadas con software, realizar el respectivo proceso de datos y elaboración de planos.

Figura 1.1 Estación total, prisma y trípode.



Fuente: www.mmtequipos.com.bo

Dron

El uso de drones ha supuesto un gran avance en labores de fotogrametría aérea. Ahora es posible obtener resoluciones mucho mayores, además de aumentar significativamente la rapidez en su realización.

Una vez hechas las fotografías, se crea una nube de puntos georreferenciada. Esa nube de puntos se exporta en los formatos estándares para su procesamiento. Esto hace posible la creación de MDT (modelos digitales del terreno) y MDS (modelos digitales de superficie). Basándonos en ellos, podemos efectuar distintos tipos de mediciones.

Para realizar un levantamiento topográfico con el Dron tenemos que realizar la planificación del vuelo, estableciendo puntos de control, después se va a hacer una Inspección previa del terreno, sitio de despegue y aterrizaje, se continua con el Vuelo en el terreno tomando las imágenes una vez terminado el trabajo en campo se descarga y post proceso de las imágenes, Obteniendo la nube de puntos del terreno, generando de curvas de nivel y modelo 3d.

Figura 1.2 Dron



Fuente: www.latitud.com.bo

RTK (Real Time Kinematic).

Los sistemas de posicionamiento global o GPS detectan las ondas emitidas por satélites, y mediante un proceso de cálculo informatizado nos dan la situación del punto de estación. Los sistemas actuales más avanzados consisten en dos receptores de doble frecuencia que trabajan en RTK (Real Time Kinematic). Esto permite conocer al instante y en el lugar de estación la posición del punto con precisión centimétrica.

Se usará para la ubicación de puntos de control en la aerofotogrametría y los puntos base en la topografía clásica con estación total.

Figura 1.3 RTK



Fuente: www.tecnoceano.com.bo

Aplicación drone deploy

Drone Deploy con capacidad GPS o una flota de dichos aviones, y un dispositivo móvil para cada dron mientras se vuela. En una tableta o teléfono inteligente, se dibuja el área a mapear y el dron vuela el área designada con un solo toque, haciendo todos los giros necesarios y deteniéndose en los puntos de referencia, recopilando datos a lo largo del camino. Drone Deploy combina imágenes grabadas geoetiquetadas para medir la distancia, el área o el volumen de un edificio.

Este planificador de vuelo se caracteriza por ser muy intuitivo y sencillo de utilizar. La aplicación está disponible tanto para dispositivos Android como iOS y es compatible con la mayoría de los drones de la firma DJI.

La planificación del vuelo del dron es realmente sencilla y muy similar a la aplicación de Pix4d. Primero seleccionaremos el área que queremos sobrevolar y seguidamente debemos de elegir los diferentes parámetros como la altura o el frontlap/sidelap. Seguidamente la aplicación hará un checklist de que todo esté correcto y el dron comenzará el vuelo de forma autónoma.

Una funcionalidad interesante es que es posible añadir un vuelo circular al final de la misión. Las fotografías generadas en este último pase serán muy útiles a la hora de conseguir mejores reconstrucciones en 3D. Aun así, las opciones para orbitar alrededor de objetos son, de momento, limitadas.

Figura 1.4 Aplicación para planeación de vuelo



Fuente: Drone deploy

Agisoft photoScan

Agisoft PhotoScan es un tipo de software autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D.

Usado en aplicaciones SIG, documentación de patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas.

Técnica de fotogrametría digital aplicada de forma inteligente con métodos de visión por ordenador.

Este sistema de procesamiento automatizado inteligente puede ser manejado fácilmente por un novato en el campo de la fotogrametría y por otro lado, tiene mucho que ofrecer a un especialista que puede ajustar el flujo de trabajo a numerosas tareas y diferentes tipos de datos

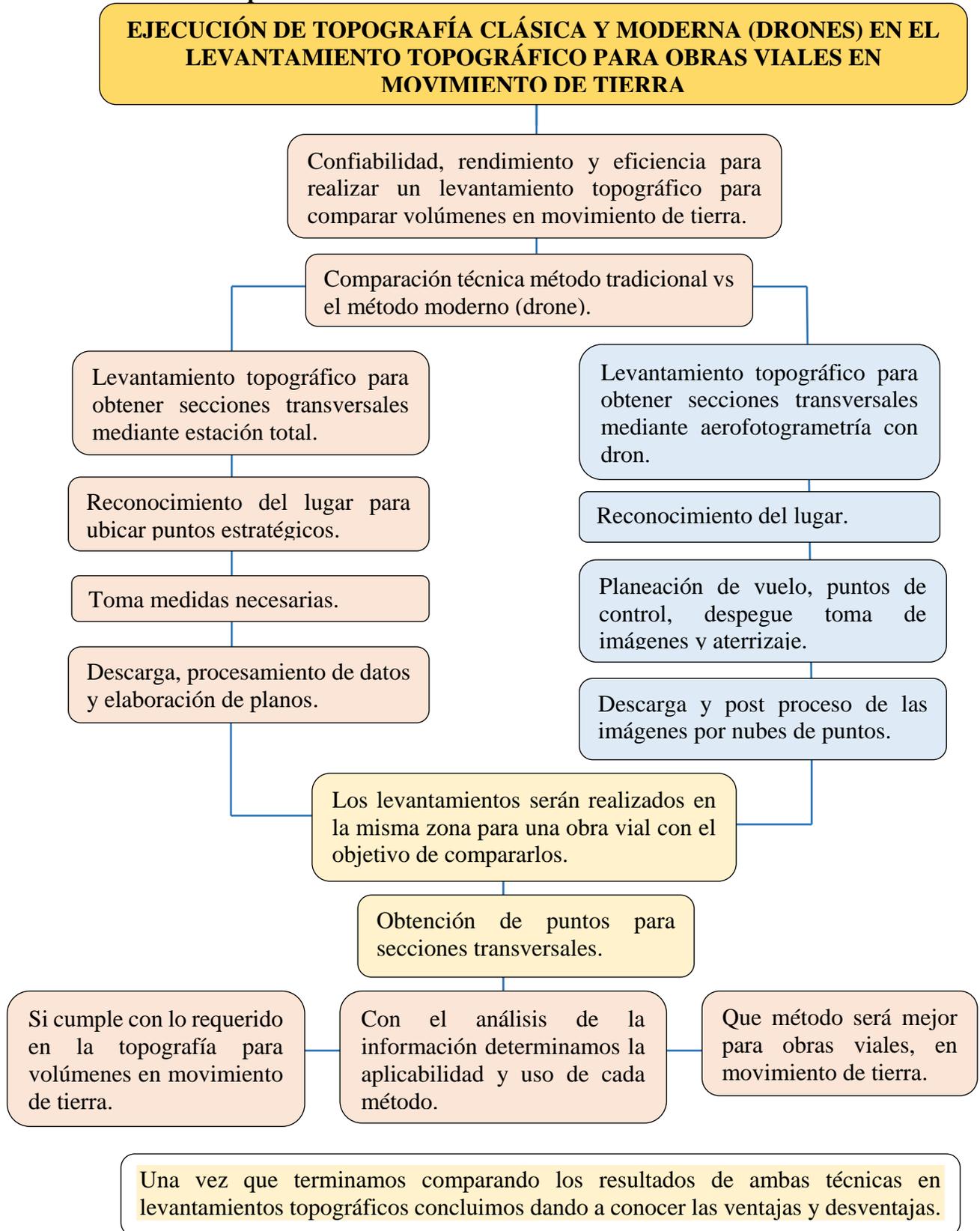
Agisoft de PhotoScan demuestra producir resultados de calidad y precisos.

Figura 1.5 Programa para proceso de datos.



Fuente: Agisoft de photoScan

1.9. Proceso de aplicación



1.10. Alcance

El alcance de este trabajo de investigación está orientado a comparar los datos obtenidos de los levantamientos topográficos para el cálculo de volúmenes en movimiento de tierra para obras viales, mediante el método clásico utilizando como herramienta la estación total y el método moderno que utilizara de herramienta el dron, de los cuales se obtendrán datos actualizados de la zona de estudio.

Se seguirá el procedimiento adecuado para cada instrumento topográfico para realizar correctamente cada levantamiento topográfico para obras viales para la cual se obtendrá información teórica extraída de distintas bibliografías.

Se evaluará que instrumento tiene mayor ventaja en cuanto a tiempo y precisión como también las ventajas y desventajas entre ellos para contribuir con método alternos a los que comúnmente se usa en el país.

En el perfil de investigación se realizará un desglose del tema a realizar, con la introducción, un pequeño resumen tratando de explicar de manera corta de por qué se realizará el proyecto con su justificación en donde se mostrará porque se está realizando dicha comparación, también los objetivos que se debe lograr durante el desarrollo del proyecto, planteando la situación problemica, como también los objetivos a alcanzar con el estudio y las soluciones que se puede emplear.

También realizaremos el marco teórico, mediante el uso de diferentes bibliografías recolectaremos toda la información necesaria que se usara para realizar el proyecto en donde definiremos varios conceptos como que es topografía, levantamientos topográficos, la importancia de la topografía se redactara la historia de la topografía, avances de la tecnología, etc.

Posteriormente indicaremos el enfoque de la investigación, los procedimientos a seguir para la recolección de información del trabajo de campo en donde se realizara dos levantamientos topográficos en una obra vial y el procedimiento de la misma en gabinete se realizara toda la parte práctica, los cálculos y los planos que requiere el proyecto en comparación de volúmenes por dos diferentes métodos, se usara software para procesamiento de datos del dron y también el uso de programas para ambos métodos.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO Y
MÉTODOS PARA
LEVANTAMIENTOS
TOPOGRÁFICOS EN
MOVIMIENTOS DE TIERRA

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO Y MÉTODOS PARA LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS EN MOVIMIENTOS DE TIERRA

2.1.Importancia de la topografía

Desde las primeras civilizaciones ha sido necesario determinar el límite de las propiedades y dividir secciones o áreas de terreno en partes más pequeñas. A lo largo de los siglos, las aplicaciones de la topografía se han expandido tanto que, hoy en día, es difícil imaginar cualquier tipo de proyecto de construcción que no incluya algún tipo de levantamiento topográfico.

Los ingenieros, arquitectos, silvicultores y geólogos, todos por igual, están interesados en la topografía como medio de planeación y trazo de sus proyectos. Se requieren levantamientos para lotificaciones, edificaciones, carreteras, vías férreas, canales, muelles, espigones, presas, redes de irrigación y de drenaje, así como en muchos otros proyectos. Adicionalmente, se requiere la topografía para la instalación de equipo industrial y maquinaria, para mantener las tolerancias en barcos y aviones, para elaborar planos forestales y geológicos y para muchas otras aplicaciones.

El estudio de la topografía es una parte importante en la formación de un ingeniero, aun cuando nunca practique la topografía. Le ayudará notablemente a pensar de forma lógica, a planear, a sentir orgullo del trabajo cuidadoso y preciso, y a registrar su trabajo en forma limpia y ordenada. También aprenderá mucho sobre la importancia relativa de las mediciones, desarrollará cierto sentido de la proporción en cuanto a lo que es importante y lo que no lo es, y adquirirá los hábitos esenciales de revisión de los cálculos numéricos y de las mediciones (una necesidad para cualquier persona que se desenvuelve en el campo de la ingeniería o la ciencia). Más aún, el individuo puede encontrarse en una posición en la que debe tomar decisiones referentes a la contratación de servicios topográficos. Sin un entendimiento básico del tema no será capaz de manejar la situación. (Mc.Cormac,2004)

2.1.1. Historia de la topografía

Es imposible determinar cuándo se utilizó por primera vez la topografía, pero seguramente, en su forma más simple, es tan antigua como la civilización misma. Desde

que existe el principio de propiedad de la tierra, se han ideado métodos para medirla o para identificar la que pertenece a una persona respecto de la de otra. Aun en el Antiguo Testamento, frecuentemente se encuentran frases que hacen referencia a la tenencia de la tierra, a los linderos y a la transferencia de propiedades. Por ejemplo, en Proverbios 22:28: "No se remueva la antigua marca del terreno que han establecido sus padres" (frases similares se encuentran en el Deuteronomio 19:14 y 27:17). Con toda seguridad los babilonios practicaron algún tipo de topografía desde el año 2500 a.C., ya que los arqueólogos han encontrado mapas grabados en tablillas que se estima tienen esa antigüedad.

El desarrollo temprano de la topografía no puede separarse del de la astronomía, la astrología o las matemáticas, ya que estas disciplinas estuvieron muy relacionadas entre sí. De hecho, el término geometría se deriva de los vocablos griegos que significan medición de la tierra. El historiador griego Herodoto (el Padre de la Historia) menciona que la topografía se utilizó en Egipto desde el año 1400 a.C., cuando ese país se dividió en parcelas de terreno para fines del cobro de impuestos. Todo indica que la geometría o la topografía era particularmente necesaria para el establecimiento y control de linderos en el valle del Nilo. Cuando las inundaciones anuales del río Nilo desaparecían las marcas de los linderos, se asignaba a topógrafos la tarea de reemplazarlas. A estos topógrafos se les conocía como "cordeleros", porque usaban cuerdas (con marcas a ciertos intervalos) para realizar sus mediciones.

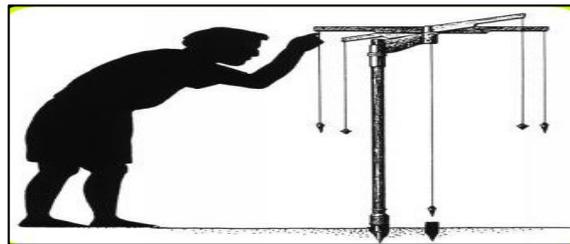
Seguramente durante este mismo periodo se necesitaron topógrafos para colaborar en el diseño y construcción de sistemas de irrigación, pirámides gigantescas, edificios públicos y otras construcciones. A juzgar por los resultados, su trabajo fue muy satisfactorio. Por ejemplo, las dimensiones de la Gran Pirámide de Giza tienen un error de aproximadamente 20 cm con respecto a una base de 225 m. Se piensa que los cordeleros trazaron los lados de la base de la pirámide con sus cuerdas y revisaron la cuadratura de ésta midiendo sus diagonales. Para obtener cimentaciones casi niveladas de estas enormes estructuras, se cree que los egipcios vertían agua los largos y angostos hechos de arcilla (un método excelente) o bien utilizaban marcos triangulares con plomadas u otros pesos suspendidos de su vértice más alto. (Mc.Cormac,2004)

Cada marco tenía, en su barra inferior, una marca que mostraba dónde debería estar la línea de la plomada cuando la barra estuviera en posición horizontal. Es probable que estos marcos, que se utilizaron para la nivelación a lo largo de muchos siglos, pidieran revisarse con facilidad para ajustarlos correctamente cambiando la ubicación de un extremo por la del otro. Si las líneas de la plomada regresaban a los mismos puntos, los instrumentos tenían un ajuste correcto y la parte superior de las estacas de soporte deberían estar a la misma elevación.

La mentalidad práctica de los romanos permitió la introducción de una gran cantidad de avances en la topografía, reflejados en una serie de sorprendentes proyectos de ingeniería que construyeron durante su imperio. Realizaron proyectos como el trazo de ciudades, campos militares y caminos, en los que utilizaron un sistema de coordenadas rectangulares. Hicieron los levantamientos de las principales rutas utilizadas en las operaciones militares del continente europeo, en las islas británicas, en el norte de África, e incluso en partes de Asia.

Tres de los instrumentos utilizados por los romanos fueron el odómetro o rueda de medición, la groma y el chorobate. La groma (cruz de topografía), por la cual los topógrafos romanos son llamados gromatici, se utilizó para trazar ángulos rectos. Consistía en dos brazos cruzados unidos en ángulos rectos, en una cruz horizontal, con plomadas colgando en cada uno de sus cuatro extremos. (Mc.Cormac,2004)

Figura 2.1 Groma



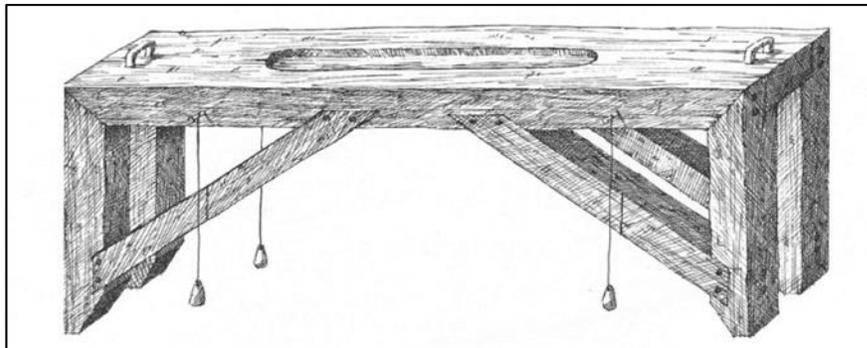
Fuente: www.wordpress.com.bo

La groma, apoyada excéntricamente sobre una vara vertical, se nivelaba y se dirigían las visuales a lo largo de los brazos en cruz, alineándose con los hilos de las plomadas.

El chorobate era un madero con aristas planas, que medía aproximadamente 6 m de largo y contaba con patas que le servían de soporte. Tenía una ranura o corte en su parte superior para contener agua de modo que sirviera como nivel.

Desde la época de los romanos hasta la era moderna ocurrieron unos cuantos avances en el arte de la topografía, pero en los siglos más recientes se introdujo el telescopio, el vernier, el teodolito, el equipo electrónico para medición de distancias, las computadoras, los sistemas de posicionamiento global y muchos otros equipos excelentes. Estos desarrollos serán mencionados en capítulos subsecuentes. (Mc.Cormac,2004)

Figura 2.2 Chorobate



Fuente: www.chorobate.com.bo

2.2. Avances tecnológicos en la topografía

En las dos últimas décadas la topografía ha tenido grandes avances tecnológicos con los que se obtiene alta precisión en el posicionamiento y diseño de datos en tiempo real.

En la construcción de obras civiles la topografía tiene una incidencia directa en todas las etapas de los diferentes proyectos empezando en el levantamiento inicial, sobre el cual será diseñado un modelo de obra que se va a construir teniendo en cuenta las formas y características de su superficie.

Los avances tecnológicos favorecen a la topografía en la velocidad de trabajo y procesamiento de datos de medición con la estación total, y los GPS son implementados en áreas de densidad moderna.

En la actualidad la topografía es más dependiente del uso de las Estaciones Totales y GPS diferencial.

El GPS recibe datos de manera más rápida para establecer la ubicación precisa de los puntos tomados. Con ello podemos hacer cualquier tipo de levantamiento topográfico, replanteo, alineaciones, nivelaciones, etc.

En la actualidad el uso de Drones en la topografía es el más reciente avance tecnológico por utilizar líneas de vuelo bajas y poder captar imágenes (orto-fotos) las cuales utilizando software topográfico pueden hacer levantamientos topográficos de grandes extensiones de tierra en muy corto tiempo. (Mc.Cormac,2004)

2.3.Definiciones

2.3.1. Topografía

Se define como topografía (del griego: Topos, lugar y Graphein, describir) como la ciencia que trata los métodos empleados para determinar las posiciones relativas de los puntos en la superficie terrestre por medio de medidas usando los tres elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación.

La topografía es la ciencia que determina las dimensiones y el contorno (o características tridimensionales) de la superficie de la Tierra a través de la medición de distancias, direcciones y elevaciones.

Define también las líneas y niveles que se necesitan para la construcción de edificios, caminos, presas y otras estructuras. Además de estas mediciones en campo, la topografía incluye el cálculo de áreas, volúmenes y otras cuantificaciones, así como la elaboración de los diagramas y planos necesarios. La topografía tiene muchas aplicaciones industriales, por ejemplo, la instalación de equipo, ensamble de aeronaves, trazo de líneas de producción y otras.

Se puede dividir al trabajo topográfico en dos actividades congruentes que son: llevar "el terreno al gabinete" (mediante la medición de los puntos realizar un archivo digital con un instrumento electrónico y su edición en la computadora) y llevar "el gabinete al terreno" (es la representación de un proyecto realizado en la computadora y ubicarlos sobre el terreno) los puntos replanteados tienen un valor tridimensional, es decir se determinan

mediante su ubicación en el plano horizontal (dos dimensiones norte y este) y en altura (tercera dimensión). (Garcia,1994).

2.3.2. Tipos de levantamientos

En esta sección se presenta una descripción breve de los diversos tipos de levantamientos que existen. La mayoría de ellos emplean técnicas que corresponden más a la planimetría que a la geodesia.

Levantamientos de terrenos

Son los más antiguos y se han llevado a cabo desde que se tienen registros históricos. Normalmente, son levantamientos de control horizontal que se realizan para la localización de linderos, subdivisión de terrenos en partes más pequeñas, determinación de superficies de terrenos y obtención de cualquier tipo de información que involucre la transferencia de terrenos de un propietario a otro. A estos levantamientos también se les conoce como levantamientos de propiedad, levantamientos limítrofes o levantamientos catastrales. Hoy en día, el término catastral se utiliza comúnmente en relación con levantamientos de terrenos particulares. (Garcia,1994).

Levantamientos topográficos

Se realizan para localizar objetos y medir el relieve, los accidentes del terreno o las variaciones tridimensionales de la superficie terrestre. Proporcionan información detallada sobre las elevaciones y la ubicación de elementos naturales artificiales (edificios, caminos, corrientes, etcétera), de tal forma que es posible dibujar la información completa en planos (denominados planos topográficos). (Garcia,1994).

Levantamientos de vías de comunicación

Incluyen la determinación del relieve y la localización de objetos naturales y artificiales ubicados a lo largo del trazo propuesto para la construcción de carreteras, vías férreas, canales, líneas de tuberías, líneas de suministro de energía eléctrica u otras instalaciones. Además, pueden incluir la ubicación y la colocación de estacas de referencia de la infraestructura y el cálculo de volúmenes de movimiento de tierra.

Levantamientos urbanos o municipales

Se realizan con objeto de trazar calles, planear sistemas de drenaje, preparar planos, etcétera. El uso de este término se asocia con los levantamientos topográficos que se realizan en una ciudad, o en sus cercanías, con el objeto de planear desarrollos urbanos. (García,1994).

Levantamientos de construcción

Tienen por objeto la localización de estructuras y establecimiento de puntos de elevación necesarios durante su construcción. Son indispensables para controlar todo tipo de proyecto de construcción y se estima que 60% de la topografía que se realiza es de este tipo. (García,1994).

Levantamientos hidrográficos

Son aquellos relacionados con cuerpos de agua como lagos, corrientes y otros. Se utilizan para generar cartas de líneas de playa, determinar las formas de las áreas bajo superficies de agua, estimar el gasto en corrientes y obtener información útil para la navegación, control de avenidas y para el desarrollo de los recursos acuáticos. (García,1994).

Levantamientos marítimos

Se relacionan con los hidrográficos, pero están diseñados para cubrir áreas mayores. Incluyen los levantamientos necesarios para la construcción de plataformas marinas, la aplicación de la teoría del oleaje y la elaboración de cartas y planos hidrográficos. (García,1994).

Levantamientos de minas

Se realizan con el objeto de obtener las posiciones y elevaciones relativas de tiros y galerías, túneles subterráneos, formaciones geológicas, etcétera, y para realizar cuantificaciones y establecer líneas y pendientes de los trabajos a ejecutar. (García,1994).

Levantamientos forestales y geológicos

Son probablemente más comunes de lo que se piensa. Los levantamientos forestales se utilizan para el establecimiento de límites, la estimación de madera en pie, topografía,

etcétera. Asimismo, la topografía es de gran aplicación en la elaboración de mapas geológicos. (García,1994).

Levantamientos fotogramétricos

Son aquellos en los que se emplean fotos (generalmente aéreas), junto con levantamientos limitados del terreno (que sirven para establecer o localizar ciertos puntos de control que sean visibles desde el aire). La fotogrametría es extremadamente valiosa, entre otras cosas, por la rapidez con que se puede aplicar, por su economía, la posibilidad de aplicarla en áreas de difícil acceso y porque proporciona un gran nivel de detalle. Sus aplicaciones aumentan cada día, ya que un gran porcentaje de los levantamientos que se realizan en áreas de gran extensión (de más de 8 a 16 hectáreas, dependiendo de la vegetación y tipo de suelo) corresponden a levantamientos fotogramétricos. (García,1994).

Levantamientos con sensores remotos

Son otro tipo de topografía aérea. Éstos hacen uso de cámaras o sensores que se transportan en aviones o satélites artificiales. (García,1994).

Levantamientos de obra terminada

Se realizan al concluir un proyecto de construcción, con el objeto de contar con las posiciones y dimensiones finales de los elementos del proyecto, como se construyeron en realidad. Estos levantamientos, además de proporcionar un registro de lo que se construyó, permiten comprobar que el trabajo se efectuó de acuerdo con el diseño. Un proyecto de construcción típico está sujeto a numerosos cambios respecto de los planos originales, debido a modificaciones en el diseño, así como a problemas que se presentan en el campo, como tuberías y ductos subterráneos, condiciones inesperadas de la cimentación y otras situaciones. Como resultado, el levantamiento de la obra terminada constituye un documento muy importante que debe preservarse como base para reparaciones futuras, ampliaciones y modificaciones. Considere, por ejemplo, lo importante que es el conocimiento de la localización precisa de líneas de drenaje y abastecimiento de agua. (García,1994).

Levantamientos de control

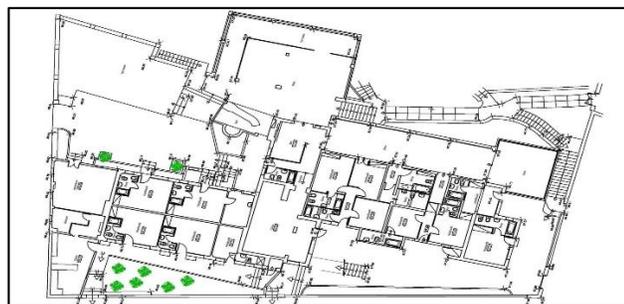
Son levantamientos de referencia. En un determinado levantamiento de control se establece un número de puntos y se determinan con precisión sus posiciones horizontales y verticales, de manera que puedan servir de base para la orientación o referencia de otros trabajos. Los controles horizontales y verticales forman una red sobre el área del levantamiento. Es posible que en un proyecto particular el control horizontal esté ligado a linderos, ejes de caminos y otras características prominentes. El control vertical consiste en un conjunto de puntos relativamente permanentes, cuyas elevaciones por arriba o por abajo del nivel del mar se han obtenido cuidadosamente (a estos puntos se les denomina bancos de nivel). Sin duda, en las décadas venideras se desarrollarán otros tipos especiales de levantamientos. (García,1994).

2.4. Planimetría

Representación horizontal de los datos de un terreno que tiene por objeto determinar las dimensiones de este. Se estudian los procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin importar sus elevaciones. Dicho de otra manera, estamos representando el terreno visto desde arriba o de planta.

Para la planimetría podemos usar la cinta o el teodolito como instrumento universal. Las distancias con que se trabaja y que se marcan en planos en planos, siempre son horizontales. Por tanto, las distancias siempre que se puede se miden horizontales o se convierten a horizontales con datos auxiliares (ángulo vertical o pendiente). La cinta determina las distancias con mayor exactitud, con teodolito tiene menor precisión en las distancias. (García,1994).

Figura 2.3 Ejemplo de planimetría



Fuente: www.despatx.com.bo

2.5. Altimetría

La altimetría es la parte de la topografía que se dedica a medir las alturas y estudiar los métodos y técnicas para representar el relieve de un terreno. También para determinar y representar la altura o cota, de cada uno de los puntos con respecto al plano de referencia. En definitiva, la altimetría se utiliza para representar la verdadera forma del terreno, tanto su extensión y límites, como la forma de su relieve, haciendo para ello una serie de cálculos y operaciones.

Es fundamental para el ingeniero de la empresa de topografía, tanto si tiene que confeccionar un proyecto, como para modificarlo el mismo.

Las aplicaciones más comunes de la altimetría son:

Proyectos de carreteras y canales que deben tener unas pendientes determinadas, ubicar obras de construcción con las elevaciones planeadas, calcular volúmenes de tierra, averiguar las características de drenaje y permeabilidad de superficies, crear puntos de control mediante el corrimiento de una elevación, medición de parcelas

Instrumentos utilizados en altimetría:

Todos los instrumentos que se usan para realizar una altimetría buscan la perfección para medir las elevaciones y alturas. El nivel es el más importante y existen dos tipos: el nivel de burbuja y el nivel topográfico.

- Nivel de burbuja: Se utiliza para determinar la horizontalidad de una línea o plano.
- Nivel topográfico: Se utiliza para garantizar la horizontalidad y poder determinar diferencias de alturas entre los distintos puntos del terreno.
- Receptores GPS y drones: Permiten realizar mapeos de zonas muy rápidamente, lo que abarata el proceso. Se suele utilizar para medir zonas de difícil acceso o grandes extensiones.

Otros instrumentos utilizados:

Clisímetros, cuerda, placa de nivelación, miras verticales, niveleta, miras graduadas. (García, 1994).

2.6. Estación total

Aunque en la actualidad se ha incrementado el uso del sistema de posicionamiento global, el instrumento más empleado en topografía es la estación total. Este aparato es una combinación de un teodolito y un instrumento EDM, junto con un equipo que tiene la capacidad de realizar diferentes cálculos, como la determinación de componentes horizontales y verticales de distancias inclinadas. El nombre original de este tipo de instrumentos fue el de taquímetro o taquímetro electrónico, pero Hewlett-Packard introdujo el nombre de estación total hace 20 años, mismo que ha sido adoptado en topografía. (Hernandez,2011)

A la mitad de la década de 1970, era común encontrar un distanciómetro fijo en un teodolito. Este arreglo fue poco práctico en su manejo, pero en la topografía se observaron rápidamente las ventajas de los equipos que miden de manera combinada la distancia y la dirección. A partir de estos inicios se dio el desarrollo que llevó a las magníficas estaciones totales actuales, las cuales se emplean en levantamientos de poligonales, realización de planos topográficos, trazo de obras de construcción y en muchos otros tipos de levantamientos. (Hernandez,2011)

En la primera mitad de la década de 1980, las estaciones totales eran utilizadas principalmente por empresas que contaban con suficiente dinero para hacer las inversiones correspondientes (es probable que en la actualidad estas compras las hayan obtenido más utilidades derivadas de esta inversión). (Hernandez,2011)

Figura 2.4 Estación total



Fuente: Consorcio de ingeniería eléctrica

2.6.1. Tipos de estaciones totales

En los días iniciales de las estaciones totales, había tres tipos de instrumentos: manuales, semiautomáticos y automáticos. (Hernandez,2011)

Estaciones totales manuales

Con estos instrumentos era necesario leer manualmente los ángulos horizontales y verticales, es decir, a ojo. Los únicos valores que se leían de forma electrónica eran las distancias inclinadas o en pendiente. (Hernandez,2011)

Estaciones totales semiautomáticas

En estos equipos, el operador tenía que leer el círculo horizontal manualmente (a ojo), mientras que las lecturas del círculo vertical se hacían de forma electrónica con despliegue digital de los valores. Las distancias inclinadas eran de medición electrónica y los instrumentos podían emplearse, en la mayoría de los casos, en la reducción de los valores en sus componentes horizontales y verticales. (Hernandez,2011)

Estaciones totales automáticas

Son las estaciones totales comunes que se usan hoy en día miden de forma electrónica ángulos horizontales y verticales, distancias inclinadas, calculan las componentes horizontales y verticales de esas distancias y determinan las coordenadas de los puntos observados.

En ocasiones se considera que los dos primeros tipos de estaciones totales antes descritas son una especie de "antigüedad" hoy en día, pero el lector debe tomar en cuenta que muchas de ellas aún se encuentran en uso. Las estaciones totales modernas conocidas como estaciones totales inteligentes tienen valores que fluctúan entre 6000 y 40 000 dólares o más. Pueden utilizarse con lectores externos de datos; las unidades más costosas cuentan con sus propias unidades de recolección de datos.

Prácticamente todas las estaciones totales utilizan rayos infrarrojos para llevar a cabo la medición de distancias. Las unidades más económicas, con prismas de reflexión, pueden medir distancias de 300 a 800 m. Las de mayor precio miden satisfactoriamente distancias

hasta de 2000 metros cuando se usan prismas sencillos. Los rangos de precisión con los aparatos menos costosos son de alrededor de $2(5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$ y en el caso de las estaciones costosas de $21 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

Un comentario realizado por los topógrafos es: "Las estaciones totales son maravillosas, pero hay que ver que a la vuelta de la esquina está ya el sistema de posicionamiento global. La realidad hoy en día es que las estaciones totales y el GPS se usan juntos. Este último es excelente y económico para instalar o expandir redes horizontales de control. Se debe considerar que el topógrafo también toma decisiones y necesita aplicar la herramienta correcta en el desarrollo de un proyecto en particular (estación total, GPS, etcétera), con objeto de obtener la precisión necesaria, mientras que, al mismo tiempo, se permanece dentro de las restricciones económicas del trabajo.

Las estaciones totales se aplican en los trabajos derivados de las redes de control para el establecimiento de límites de terrenos, en el estacado de sitios de construcción y en la obtención de datos topográficos, el GPS tiene una limitación relacionada con la visibilidad. Debe haber un número suficiente de satélites artificiales visibles, aspecto que no siempre es posible cuando los trabajos se realizan en bosques o en zonas metropolitanas con edificios altos. En estos casos se deben tomar las precauciones necesarias para poder emplear este tipo de equipos.

Las estaciones totales tienen algunas desventajas que se deben comprender con claridad. Su empleo no produce libretas de campo como las que se estudiaron en capítulos previos, lo que se traduce en una dificultad para que el topógrafo realice las revisiones del trabajo en el campo. Para hacer una revisión completa del levantamiento, es necesario regresar a la oficina y elaborar los planos (probablemente hechos en computadora).

Otra desventaja de las estaciones totales es que no se les debe utilizar para hacer observaciones del Sol, a menos que se usen filtros especiales como los prismas de Roelof. Si esto no se hace, puede dañarse la parte EDM del instrumento. (Hernandez, 2011).

2.6.2. Levantamiento con estaciones totales

Una estación total se nivela de forma aproximada utilizando sus tres tornillos de nivelación. No es necesario girar el instrumento alrededor de su eje vertical. Una vez

realizada esta acción, el microprocesador del aparato detecta la magnitud de errores de nivelación y realiza las correcciones apropiadas a los valores medidos de los ángulos horizontales y verticales. Como resultado, el microprocesador toma en cuenta los errores instrumentales, como la falta de perpendicularidad de la línea de visual con respecto al eje horizontal y de éste con respecto al eje vertical. Con los instrumentos antiguos (tránsitos y teodolitos), se tenía la costumbre de medir el mismo número de ángulos directos que inversos, y promediar las lecturas con la finalidad de compensar los errores. Esta práctica no se necesita con las estaciones totales. Sin embargo, se incurre en algunos errores de medición durante los trabajos, por lo que se recomienda tomar varias lecturas y dejar que el microprocesador saque el promedio de los valores medidos.

Para la medición de ángulos horizontales, se dirige una visual atrás hacia un punto empleando los tornillos de presión y tangencial y se registra el valor del ángulo. Este puede ser cero, un azimut conocido o cualquier otro valor. Después, el instrumento se dirige hacia el segundo punto con los mismos tornillos y despliega de manera automática el valor del ángulo horizontal. Con seguridad existen errores instrumentales en las observaciones, por lo que, para minimizarlos, este ángulo puede calcularse varias veces y obtener el promedio de los valores (una gran cantidad de estaciones totales determinan este promedio).

En este análisis se supone que las coordenadas rectangulares del punto inicial y del azimut de una línea son conocidas o supuestas. Se instala la estación total, se ingresan las coordenadas en el aparato y se inscribe el dato del azimut conocido en la pantalla del círculo horizontal. Se dirige una visual atrás (empleando el tornillo del movimiento inferior) a lo largo de la línea de azimut conocido. Con el movimiento superior se visa hacia el siguiente punto y a continuación se despliega el azimut y se guarda en la memoria del aparato.

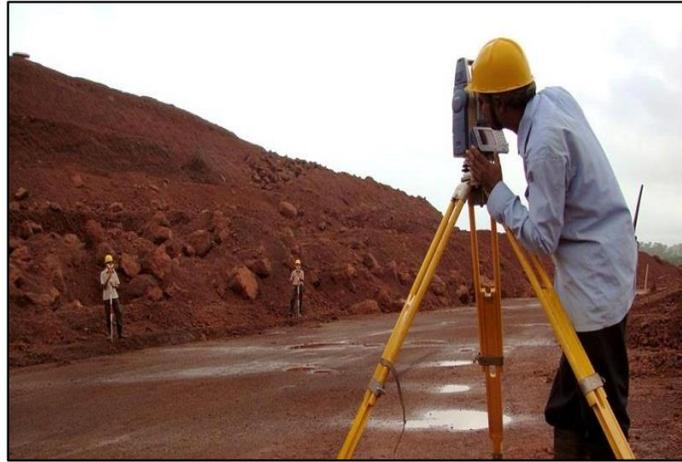
La estación total mide la distancia inclinada desde el instrumento hasta el reflector, junto con los ángulos horizontales y verticales. Entonces el microprocesador del aparato calcula las componentes horizontal y vertical de la distancia inclinada. Además, con base en estas componentes y el azimut de la línea, el microprocesador determina (por trigonometría) las

componentes norte-sur y este-oeste de la línea y las coordenadas del nuevo punto, las cuales quedan grabadas en la memoria de la estación.

Al desplazar la estación total al segundo punto, se repite el procedimiento descrito para el primer punto, con la excepción de que no se necesita introducir los datos del azimut inverso al primer punto, ni las coordenadas del segundo punto. Basta con recuperarlos de la memoria del aparato y después se visa el siguiente punto. Este procedimiento se repite hasta que el topógrafo regresa al punto inicial o a otro punto de coordenadas conocidas. Las coordenadas de este punto final se comparan con aquéllas que se obtuvieron con la estación total. Si la diferencia o error de cierre se encuentra dentro de la tolerancia permitida, se aplican ajustes proporcionales a los puntos intermedios para obtener sus coordenadas finales.

Como parte del levantamiento de poligonales, el topógrafo puede obtener las elevaciones de los puntos, lo cual se hace fácilmente con la estación total. Por supuesto, se necesita contar con la altura del instrumento y la altura del reflector. Entonces, cuando el microprocesador calcula las Y componentes verticales de la distancia inclinada, determina también la elevación del siguiente punto. Como parte de este cálculo, se realiza la corrección por curvatura terrestre y por refracción atmosférica. Cuando se llega al último punto, la diferencia de su elevación y la elevación calculada con el aparato (si está dentro de tolerancia) se ajusta o distribuye entre los puntos intermedios. Las elevaciones que se determinan de esta manera no son tan precisas como aquéllas que se obtienen mediante el proceso de nivelación. (Hernandez,2011)

Figura 2.5 Levantamiento topográfico con estación total



Fuente: www.acolita.com.bo

2.6.3. Cuidado del instrumento

La regla más importante, como en el caso de los niveles, es "no dejar caer el instrumento", porque con toda seguridad saldría severamente dañado. En la lista siguiente se presentan algunos aspectos importantes a recordar en el cuidado de estos aparatos tan costosos. (Hernandez,2011)

- Retirar el polvo y el agua de los aparatos tan rápido como sea posible para evitar problemas. Después de su utilización, el polvo debe retirarse con una brocha y el aparato se debe limpiar con un trapo. El polvo pegado se puede retirar con un limpiador casero suave, aplicándolo con algodón.
- En caso de lluvia, debe ponerse la protección de la lente del objetivo. Además, es recomendable llevar una funda impermeable para cubrir el aparato.
- Al transportar el instrumento en un vehículo, se debe mantener dentro de su caja o en un lugar acolchonado para evitar golpes.
- Cuando se saca el instrumento de su caja, ésta debe colocarse en forma horizontal. El instrumento se debe sostener mediante su soporte (en el caso de los tránsito) o su manija (en el caso de otros instrumentos).
- Instale el tripié con las patas bien abiertas y clavadas firmemente en el terreno.

- No se debe instalar el aparato en superficies planas y duras, como una losa de concreto, a menos que se tome alguna precaución (como colocar un marco triangular) para evitar que se resbalen las patas del tripié.
- No se deben apretar demasiado los tornillos. Si se requiere una fuerza mayor que la que se aplica con los dedos, el instrumento necesita limpieza o reparación.
- No se debe aplicar un exceso de presión porque puede causar un daño apreciable al aparato.
- Nunca desatienda el aparato, porque puede ser derribado por viento, vehículos, niños o animales de granja, o puede ser robado.
- Al transportar el equipo dentro de un edificio, se debe sostener el tripié en los brazos en posición horizontal y el aparato por delante. Esto permite evitar mejor los obstáculos. Es aun preferible transportar el equipo en su caja cuando se presente esta situación.
- El vidrio que se utiliza en instrumentos ópticos no es muy duro y se raya con facilidad. Si se ensucian las lentes deben limpiarse con cuidado con una brocha limpia de pelo de camello. Los dedos no deben tocar las lentes porque la grasa de la piel retiene el polvo. Puede emplearse una tela humedecida con alcohol (o alcohol mezclado con éter) que no deje pelusa para limpiar la lente, para lo cual se realiza un movimiento circular desde el centro hacia afuera de la misma.
- Para evitar daños en los componentes internos, no se debe visar el Sol con las estaciones totales y los equipos EDM.
- En el caso de trabajos de gran precisión, los instrumentos deben cubrirse de los rayos solares directos, protegerse de temperaturas muy altas y evitar los cambios bruscos de temperatura.
- El topógrafo no entrenado no debe intentar desarmar o lubricar el equipo EDM, los teodolitos o las estaciones totales; esto lo deben hacer los fabricantes.

2.7.Necesidad de precisión en levantamientos topográficos

El topógrafo debe tener la habilidad y el criterio necesarios para ejecutar mediciones precisas. Es te hecho resulta obvio cuando se piensa en términos de la construcción de puentes largos, túneles, edificios altos, almacenes de misiles o en la instalación de

maquinaria delicada; sin embargo, esta precisión también es necesaria en los levantamientos topográficos de terrenos.

Hace unas cuantas décadas, los precios de la tierra no eran tan altos, con excepción de los terrenos ubicados en las grandes ciudades y en sus zonas metropolitanas. Si un topógrafo agregaba o disminuía unos cuantos metros cuadrados en un lote o algunas hectáreas en una granja, generalmente esto no se consideraba un asunto de gran importancia. Hasta antes del siglo XX no se contaba con buenos instrumentos de topografía y, por lo tanto, era prácticamente imposible para un topógrafo obtener la calidad de trabajo que se espera de los topógrafos actuales. ¿Qué opinarán los topógrafos de los siglos futuros respecto a la topografía del siglo XX y a qué maravilloso equipo tendrán acceso?

Hoy en día, los precios de los terrenos son altos en la mayoría de las áreas y, evidentemente, este aumento apenas ha iniciado. En muchos sitios de alta densidad poblacional y en muchos lugares de recreo, se vende a un precio muy elevado el metro cuadrado de terreno y, si se trata de un frente, puede ser incluso más caro, de ahí que el topógrafo deba ejecutar un trabajo excelente. Aun en áreas rurales, el precio de los terrenos está, con frecuencia, "por los cielos". (Jordan,1978)

2.8. Errores de una medición topográfica

No existe persona alguna que tenga los sentidos tan desarrollados medir cualquier cantidad para de forma exacta y tampoco existen instrumentos con los cuales lograrlo. En consecuencia, todas las mediciones son imperfectas. Un objetivo muy importante de la topografía es la precisión del trabajo. Este tema se repetirá constantemente a medida que se estudie cada fase de la topografía.

Las diferencias siempre presentes entre las cantidades medidas y las magnitudes verdaderas de esas cantidades se clasifican como equivocaciones o errores. Una equivocación es una diferencia con respecto al valor verdadero, causada por la falta de atención del topógrafo. Por ejemplo, éste lee un número 6 cuando en realidad es 9, registra cantidades equivocadas en las notas de campo o agrega una columna de números incorrectamente. El punto importante es que las equivocaciones son causadas por la falta de cuidado del topógrafo, pero éstas pueden eliminarse haciendo revisiones cuidadosas.

2.8.1. Errores instrumentales

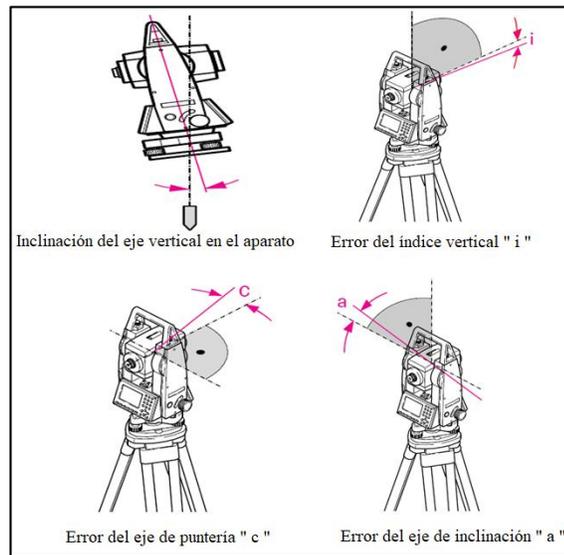
Para un trabajo óptimo en una estación total se debe cumplir con los siguientes requisitos.

- El eje vertical corregido debe ser absolutamente vertical al cenit.
- El eje de puntería debe ser perpendicular a la inclinación del eje horizontal.
- La inclinación del eje vertical debe ser perpendicular al eje horizontal.
- La lectura del eje vertical al apuntar al cenit debe ser cero.
- En caso de que estos requisitos no se cumplan se debe escribir los errores para cada caso.
- La inclinación del eje vertical (es el ángulo formado entre la plomada y el eje vertical).
- Error en el eje de puntería (es la desviación con respecto al ángulo recto entre el eje de puntería y el eje de inclinación).
- Error del eje de inclinación (es la desviación del ángulo recto entre el eje de inclinación y el eje vertical).

Los efectos que ejercen estos errores en las mediciones en los ángulos horizontales, se incrementan conforme aumenta la diferencia de alturas entre los puntos a medir.

Los errores del eje de puntería y del eje de inclinación se eliminan al tomar mediciones en las dos posiciones del anteojo. El error del eje de puntería también se puede determinar y registrar. Al medir un ángulo automáticamente estos errores se toman en consideración, por lo que las mediciones que se efectúen pueden considerarse prácticamente libres de errores, aun en caso de hacer la lectura con una sola posición del anteojo. La inclinación del eje vertical no se toma en cuenta ya que es un error instrumental. (Jordan,1978)

Figura 2.6 Errores instrumentales



Fuente: www.ingenieriareal.com.bo

2.8.2. Errores del operador

Esto sucede por la apreciación del operador al medir ya sea por la agudeza visual o sensibilidad del tacto. Los más comunes son al plantar el aparato si ubica ineficientemente el instrumento o sus accesorios. La visualización del objetivo cuando el anteojo no refleja la recolección de los datos aplomados. El redondeo esto se da cuando se suprime medidas por exceder en la descripción final del motivo del trabajo. (Jordan,1978).

2.8.3. Errores según la condición en los que se los realiza

Son los errores que se dan por las condiciones climáticas o atmosféricas del lugar donde se desarrolla el trabajo. Estas normalmente se dan por el viento, sol, humedad y presión atmosférica que pueden llegar a impedir un óptimo trabajo. La inestabilidad del terreno, la vegetación, cursos de agua, siendo estas las dificultades que generan errores porque pueden ocasionar movimientos y dificultad en la visualización de los puntos a medir.

En topografía se utilizan medidas resultantes de una serie de observaciones homogéneas. (Jordan,1978).

2.9. Tipos de errores

Los errores presentes en los procesos de medición se clasifican en sistemáticos y accidentales. Fuera de la clasificación de errores se encuentran las equivocaciones, propias del descuido, de la mala aplicación de un método, son errores groseros que deben ser eliminados. Se detectan al reiterar la medición, o al obtener valores absurdos. Se previenen con el cuidado y la atención. (Jordan,1978).

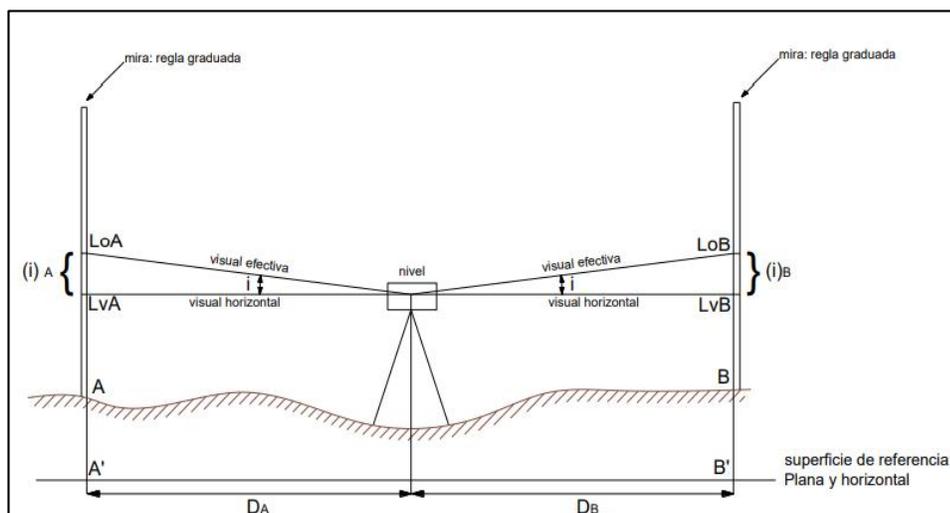
2.9.1. Errores sistemáticos

Son atribuibles al instrumental, al método utilizado o a las condiciones de medición. Se pueden manifestar en todas las observaciones o ser errores sistemáticos intermitentes. Su principal característica es que hay una ley física que describe su comportamiento, si ésta se conoce, se puede cuantificar su influencia en las mediciones y por lo tanto corregir las mismas. Si se desconoce la ley física que describe el error, se debe tener precaución (por ejemplo: “efecto multipath” en medición con GPS: no estacionarse cerca de superficies reflectantes que puedan desviar la señal emitida por el satélite). Esta clase de errores afectan la exactitud en la medición, es decir, alejan el valor observado del valor real de la magnitud. (Jordan,1978).

Los errores sistemáticos pueden ser constantes o variables, los constantes mantienen un valor fijo para el error en el proceso de medición, los variables son aquellos que varían en el proceso de medición. Un ejemplo de error sistemático constante es el error de inclinación del nivel (i =ángulo formado por el eje de colimación del instrumento y la horizontal) es un ángulo fijo, su influencia en las observaciones sobre la mira viene dada por $(i) = \tan i \cdot d$. En este caso tenemos un error sistemático que es angular, y la influencia en las lecturas que es lineal. (Jordan,1978).

La influencia de este error en la medición dependerá del valor angular del error y de la distancia a la que se encuentra la mira. Notar la diferencia entre el error, propio del instrumento, y la influencia del error en la observación. (Jordan,1978).

Figura 2.7 Errores sistemáticos



Fuente: www.inacap.com.bo

Donde:

Lo = Lectura observada.

Lv = Lectura verdadera.

A'/B' = Proyección del punto A/B sobre el plano horizontal.

Un ejemplo de error sistemático variable es la dilatación de una cinta metálica expuesta a diferentes temperaturas. En un mismo proceso de medición puede variar la temperatura sobre la cinta, dependiendo del horario del día y de la exposición o no al sol. Por lo tanto, el error producido por el estiramiento o contracción de la cinta será variable, en función de la temperatura de la cinta en el momento de la medición.

Otros ejemplos de errores sistemáticos: una cinta métrica cuyo inicio no sea el 0m (error instrumental), una balanza que pese 1kg de más (error instrumental), la desviación que sufre la visual al atravesar capas de distinta densidad en la atmósfera (error propio del método), medir en tramos una magnitud lineal sin alinearse (error en el método), etc. (Jordan,1978).

Los errores sistemáticos, dependiendo de su origen, se pueden tratar de 3 formas:

- Cuantificado el error y conocida su ley de influencia en las mediciones, se podrán así corregir las mismas.

- Calibrar el instrumento.
- Utilizar un método operativo que me permita eliminar la influencia del error en el valor buscado

2.9.2. Errores accidentales

Una vez corregidos o tratados los errores sistemáticos, aún quedan los errores llamados accidentales, son errores inevitables que dependerán directamente de las condiciones en las que se trabaje (viento, neblina, reverberación, etc.), del operador (limitaciones propias del ser humano) y también del instrumental y método utilizado (por ejemplo, un nivel con mayor aumento, nos permitirá hacer una mejor estimación en la lectura). Son errores aleatorios, sin una ley que los describa, por lo tanto, no se pueden corregir o eliminar, pero existen métodos probabilísticos que nos permiten estimarlos y minimizar su influencia en los resultados. (Jordan,1978).

2.10. Escalas

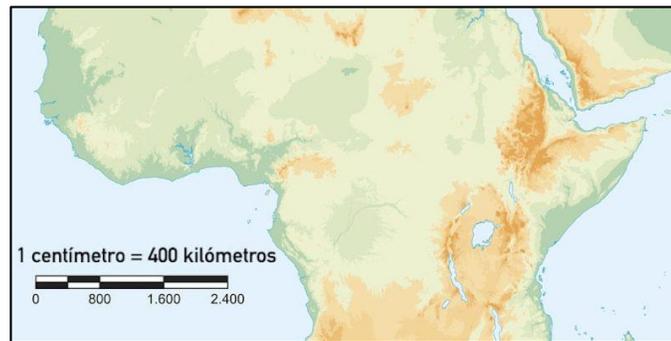
La escala se define como la relación matemática entre las dimensiones reales con las de un dibujo sobre un plano o mapa. Es la relación que existe entre las medidas de un mapa y las medidas en la superficie terrestre.

Las escalas se escriben de forma en las que se indica el valor del plano y después el valor en la realidad. Por ejemplo, la escala 1:100, significa que 1 cm en el plano equivale a 1 metro en la realidad.

Si lo que se desea es medir del dibujo a una determinada superficie, se debe tener en cuenta las áreas de las figuras semejantes, por ejemplo, un cuadrado de 1cm del lado de un dibujo.

La escala también aparece representada por una línea recta de color blanco y negro dividido en partes iguales que determinan el número de metros o kilómetros de una división a otra. (McCormac,2004).

Figura 2.8 Modelo de escala



Fuente: www.concepto.de

2.11. Curvas de nivel

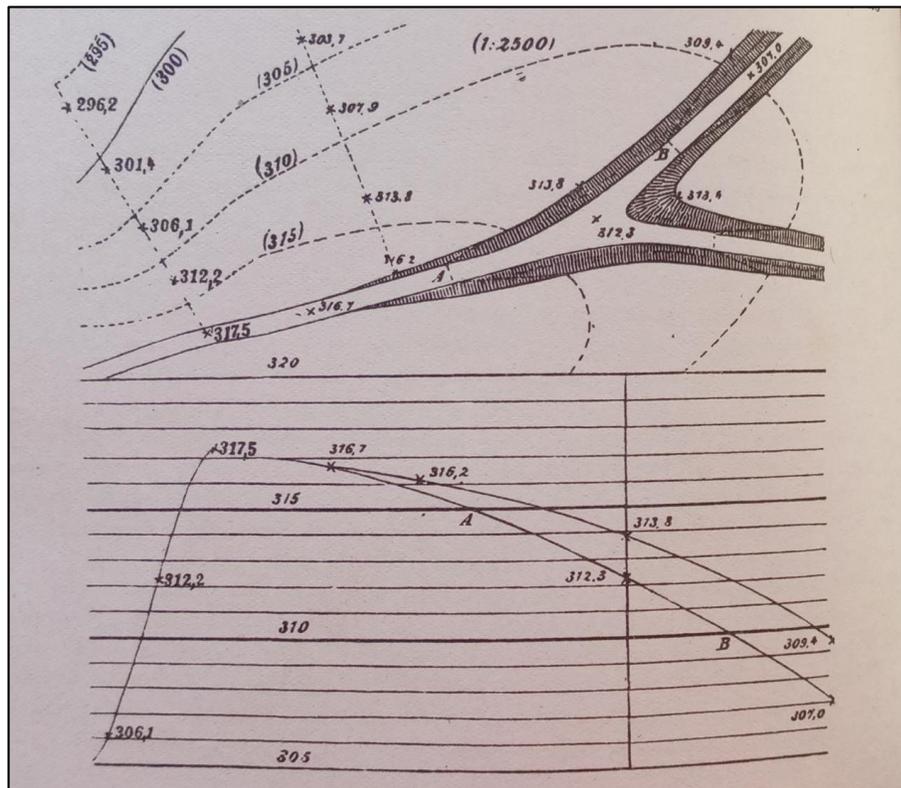
El neerlandés Cruquius fue quien, en 1729, empleó por primera vez las curvas horizontales o curvas de nivel, para representar la forma del terreno, y después, en 1737, el francés Buache utilizó también estas curvas con el mismo objeto; tanto uno como otro agregaban a las curvas de nivel las líneas batimétricas. La aplicación de las curvas de nivel a la representación de las formas del terreno y la resolución de problemas dependientes de ésta, se debe principalmente al ingeniero francés Ducarla (1765). Para más detalles históricos sobre las curvas de nivel, puede verse el trabajo de Licka publicado en la *Zeitschr. f. Verm.* de 1880.

El problema de la nivelación puede definirse, en general, diciendo que consiste en tomar tantos puntos característicos en el terreno como sean necesarios para representar la forma general de aquél, pudiendo intercalar otros puntos secundarios que acaben de dar el detalle de esta forma. (Jordan,1978).

Para representar la forma de la superficie terrestre, una vez hecha la nivelación, hay que trazar en el plano las líneas de intersección de aquélla con una serie de planos horizontales equidistantes entre sí, que son precisamente las curvas de nivel.

Toda curva de nivel tiene la propiedad de que en cualquier punto de la misma su tangente es horizontal y normal a la máxima pendiente. Prescindiendo de la curvatura de la superficie terrestre, puede considerarse una curva de nivel como contenida en un plano horizontal. (Jordan,1978).

Figura 2.9 Curvas de nivel



Fuente: Tratado general de topografía.

Si se toman bastantes puntos y bien situados, es muy sencilla la construcción de las curvas de nivel. La determinación directa, sobre el terreno, de las curvas de nivel, valiéndose del nivel de visual fija o equialtímetro, con levantamiento posterior, es un trabajo muy penoso que hace inaplicable este método como norma general operatoria.

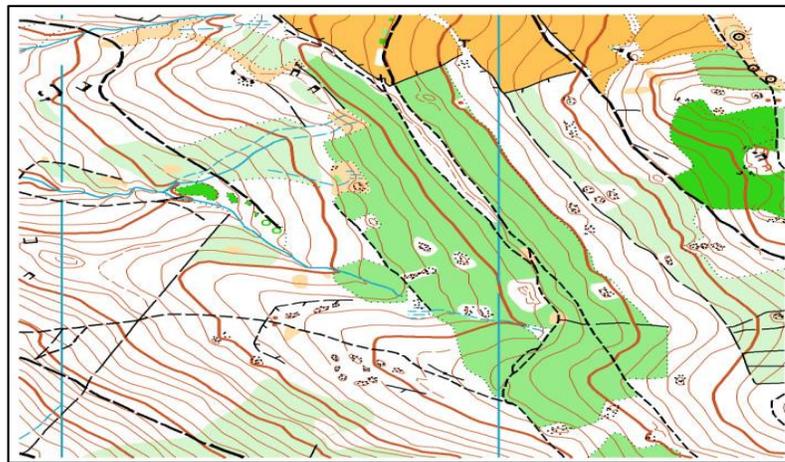
Para el trazado de las curvas de nivel damos por sentado que todos los puntos del plano llevan escritas sus correspondientes cotas, y que, si alguna parte del terreno presenta una forma irregular que rompa la marcha general de los desniveles, como desfiladeros, etc., esté perfectamente acusada esta irregularidad en el croquis de campo, mediante curvas auxiliares, rayado de las escarpas, dibujos detallados, etc.

El trazado de las curvas de nivel es un problema de Geometría descriptiva, que consiste, en intercalar cotas entre puntos directamente nivelados, es decir, de cota conocida. (Jordan,1978).

Según Jordán (1978) Las principales características de las curvas de nivel son:

- Las curvas de nivel no se cruzan entre sí, son líneas cerradas, aunque esto normalmente no sucede dentro de un mismo dibujo.
- Cuando se acercan entre sí indican una pendiente mayor del terreno y viceversa. Tienden a ser paralelas entre sí, en especial en los valles amplios. Excepto en los relieves abruptos, jamás se tocan o confunden.
- Por lo tanto, se puede decir que las curvas de nivel son líneas dibujadas en un mapa que unen puntos o lugares que están en la misma altura sobre el nivel del mar.

Figura 2.10 Curvas de nivel



Fuente: es.wikipedia.org

2.12. Tipos de curvas de nivel

Los tipos de curvas de nivel son:

- Curvas Índice, indican la altura con números como guía para todos los puntos del mismo nivel. Normalmente son más gruesas y de otro color para facilitar su interpretación.
- Curvas o líneas intermedias, son las líneas más finas y equidistantes por lo que a partir de las líneas índice se puede determinar su altura.

La superficie entre las curvas de nivel se determina zona.

2.13. Sistema de coordenadas

Un sistema de coordenadas es la forma de determinar la posición de un punto u objeto en un mismo plano.

En la topografía se utilizan normalmente dos tipos de coordenadas. Las coordenadas geográficas y las coordenadas UTM. (Jordan,1978).

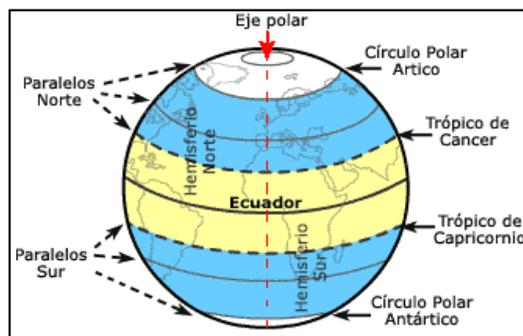
2.14. Sistema de coordenadas geográficas

Es un sistema de coordenadas que utiliza una superficie esférica de tres dimensiones para establecer ubicaciones en la tierra. para ubicar un punto se utilizan los valores en latitud y longitud que son ángulos medidos desde el centro de la tierra hasta un punto en la superficie terrestre.

Los valores de latitud y longitud se miden en grados decimales o en grados minutos y segundos. "la línea de latitud que se encuentra en el punto medio entre los polos se denomina ecuador. define la línea de latitud cero. la línea de longitud cero se denomina meridiano base. para la mayoría de los sistemas de coordenadas geográficas, el meridiano base es la longitud que atraviesa Greenwich, Inglaterra. otros países utilizan líneas de longitud que pasan a través de Berna, Bogotá y París como meridianos base. el origen de la retícula (0,0) se define por el punto donde se intersecan el ecuador y el meridiano base. el globo se divide, entonces, en cuatro cuadrantes geográficos basados en rumbos de brújula desde el origen. el norte y el sur están encima y debajo del ecuador, y el oeste y el este están a la izquierda y a la derecha del meridiano base."

la cartografía actualmente utiliza para la medición de coordenadas el sistema de coordenadas geográficas y el sistema de coordenadas UTM (universal transversal de mercator), para los que se emplean el sistema clásico UTM y el sistema GPS (global position system), su diferencia radica en que su origen es distinto. (Jordan,1978)

Figura 2.11 Sistema de coordenadas geográficas.



Fuente: www.aristasur.com.bo

2.15. Sistema de coordenadas cartesianas

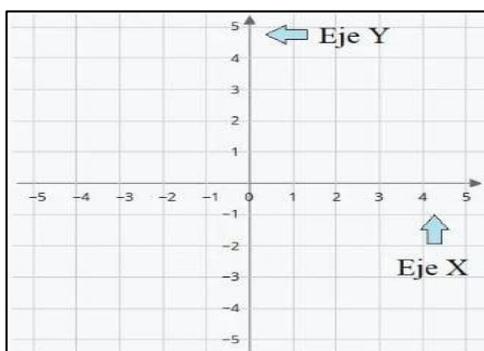
Las coordenadas cartesianas es un sistema para definir un punto mediante dos o más líneas de referencia.

Normalmente este sistema se utiliza solo dos líneas de referencia llamadas ejes X y eje Y en el cual el eje x es la distancia horizontal y el eje Y es perpendicular a él.

El punto donde se intersectan estos dos ejes se llama origen o punto 0 (cero). En la topografía se le introduce un tercer eje o plano el eje Z que es para determinar la altura de un punto.

En el sistema de coordenadas cartesianas, los tres ejes tienen ángulos rectos entre sí. Por lo que para determinar un punto se lo hace con tres números (X, Y, Z). (Jordan,1978)

Figura 2.12 Plano de coordenadas cartesianas.



Fuente: www.aristasur.com.bo

2.16. Sistema de coordenadas U.T.M.

El Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator, UTM) es un sistema desarrollado por el geógrafo flamenco Gerardus Mercator en 1659 que está dentro de las llamadas proyecciones cilíndricas, por emplear un cilindro situado en una determinada posición espacial de coordenadas, está basado en la proyección geográfica transversa de Mercator, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano. A diferencia del sistema de coordenadas tradicional, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros únicamente al nivel del mar que es la base de la proyección del elipsoide de referencia. Esta proyección es "conforme", es decir, que conserva los

ángulos y casi no distorsiona las formas, pero inevitablemente si lo hace con distancias y áreas. La utilidad que tiene esta proyección, por su conformidad como aplicación a problemas geodésicos, la hace recomendable para la representación de casi todos los países, exceptuándose aquellas zonas situadas a $+80^\circ$ de latitud, en las que se utilizará la proyección estereográfica.

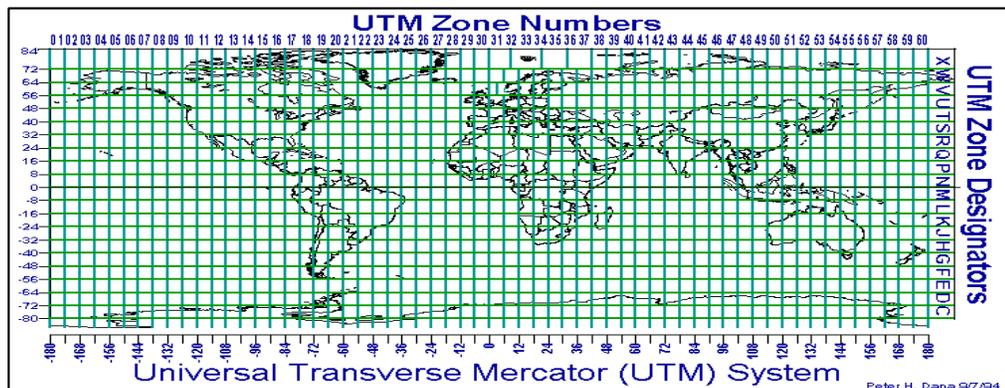
El sistema de proyección UTM tiene las siguientes ventajas frente a otros sistemas de proyección:

- Conserva los ángulos.
- No distorsiona las superficies en grandes magnitudes (por debajo de los 80° de latitud).
- Un punto queda fácilmente localizable.
- Es de empleo universal.

Las cartas topográficas actuales se basan en la proyección U.T.M., el cilindro al ser tangente a un meridiano, puede girar alrededor del eje de la Tierra, teniendo así infinitas posiciones según sea el meridiano de tangencia. De ahí su nombre de transversal, puesto que el cilindro se coloca transversalmente al eje terrestre.

Cada cuadrícula UTM se define mediante el número del Huso y la letra de la zona; sabiendo que, si una zona tiene una letra igual o mayor que la N, la zona está en el hemisferio norte, mientras que está en el sur si su letra es menor que la "N". Tarija se encuentra en la cuadrícula 20K. (Jordan,1978)

Figura 2.13 Cuadrícula U.T.M.



Fuente: www.elgps.com.bo

2.17. Vehículos aéreos no tripulados

Dentro de la industria aeronáutica, el sector de los UAV (Vehículos Aéreos no Tripulados "Unmanned Aerial Vehicle") es una de las áreas con mayor potencial de crecimiento. El hecho de que su uso se haya multiplicado en apenas unos años lo demuestra. En comparación con los vehículos tripulados, estas aeronaves son más maniobrables y sus costos de explotación pueden ser inferiores. Además, con ellas se puede evitar el riesgo inherente a los vuelos tripulados en entornos hostiles, en condiciones de vuelo con escasa visibilidad, o en general, con condiciones climáticas adversas.(Olive,2018)

Figura 2.14 Vehículo aéreo no tripulado

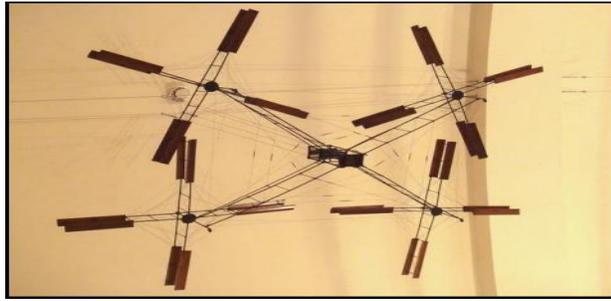


Fuente: www.pub.eldiario.net

2.18. Reseña histórica de los drones.

Las Drones no son recientes, como todo tuvo una evolución a partir de los años, es por ello que amerita conocer un poco de la historia de esta herramienta, desde sus primeros inicios hasta llegar a nuestros días. En 1907 el primer quadcopter o dron del mundo fue creado por los hermanos inventores Jacques y Louis Bréguet, que trabajan con el controvertido ganador del Premio Nobel, Profesor Charles Richet. Aunque era algo indudablemente emocionante, esta tecnología tenía algunas grandes limitaciones como, por ejemplo, que se requerían de cuatro hombres para estabilizarlo y en su primer vuelo levantó apenas dos pies del suelo. (Olive,2018).

Figura 2.15 Primer dron



Fuente: www.elmercantil.com.bo

Los primeros Drones de uso militar (1917), fue lanzado solo 16 años después del vuelo pionero de Kitty Hawk de los hermanos Wright, el Ruston Proctor Aerial Target se convirtió en el primer avión sin piloto de la historia. (Olive,2018).

Figura 2.16 Primeros drones militares



Fuente: www.crehana.com.bo

Era un avión sin piloto controlado por radio, basado en la tecnología RC del inventor Nikola Tesla. El objetivo era que actuara como una bomba voladora. A pesar de las demostraciones prometedoras, nunca se usó en un escenario de combate. Sin embargo, abrió la puerta a proyectos similares, como el asombroso Kettering Bug, y allanó el camino para los Drones militares de hoy en día. En 1943 los Drones fueron creados para ser utilizado por los militares alemanes durante la Segunda Guerra Mundial, “Fritz X” era el apodo que se le daba al FX-1400, la primera arma de control remoto que realmente se puso en uso operativo. Una bomba de 2,300 libras que se usó para hundir barcos. Este no solo fue el primer avión no tripulado militar que se desplegó correctamente, sino que

también fue el antecesor de los modernos misiles antibuque y otras armas guiadas de precisión. En la década de los 60, los avances en la tecnología de transistores significaron que, por primera vez, los componentes miniaturizados controlados por radio estaban disponibles para los clientes a un costo razonable. (Olive,2018).

Lo que siguió fue un boom de popularidad en los aviones RC de los Estados Unidos. En su mayoría, en forma de kit, estos aviones RC ofrecían de todo, desde modelos con capacidad de vuelo interior, hasta modelos al aire libre mucho más grandes.

La industria artesanal que surgió fue un ejemplo temprano del tipo de comunidad y mercado que surgió medio siglo después. (Olive,2018).

En 2001 después del 11 de septiembre, la CIA comenzó a volar Drones armados sobre Afganistán como parte de su guerra contra los talibanes.

La primera operación basada en Drones de la CIA tuvo lugar en febrero de 2002, cuando se usó un Drone Predator no tripulado para apuntar a un sospechoso que se creía que era Osama Bin Laden. Sin embargo, resultó ser un hombre inocente llamado Daraz Khan que estaba recogiendo chatarra. Sucesos como éste, crearon mucha polémica y pusieron en duda el uso de Drones en la guerra. Reconociendo el potencial de los Drones no militares en 2006, la FAA2 emitió los primeros permisos comerciales de Drones. (Olive,2018).

Estos permisos eliminaron algunas de las limitaciones impuestas a los aviones no tripulados de pasajeros que volaban con fines recreativos. Al hacerlo, abrió nuevas posibilidades para las empresas o profesionales que querían utilizar Drones en diferentes industrias. (Olive,2018).

Al principio, apenas se requerían permisos comerciales de Drones. Sin embargo, ese número pronto aumentó. (Olive,2018).

En 2010 la compañía francesa Parrot lanzó su Parrot AR Drone, el primer Drone listo para volar que se puede controlar completamente a través de Wi-Fi, usando un teléfono inteligente. El avión no tripulado tuvo un éxito casi inmediato, tanto críticamente como comercialmente, recibiendo el premio CES Innovations 2010 para Electronic Gaming Hardware y vendiendo más de medio millón de unidades. El AR Drone 2.0 de la compañía

mejoró aún más la fórmula con un sistema de pilotaje más fácil, lo que facilita a los recién llegados el pick-up-play. (Olive,2018).

Figura 2.17 Parrot AR Drone



Fuente: es.wikipedia.org

En diciembre de 2013, Amazon lanzó un video conceptual que mostraba el sueño de su fundador Jeff Bezos de un sistema de entrega basado en Drones.

Si bien el gigante minorista no fue la primera compañía en considerar las entregas de Drones, fue el que puso dicha tecnología en la conciencia pública.

En una entrevista concedida a 60 Minutes, Bezos describió la posibilidad de usar esta tecnología para hacer entregas de media hora. “Sé que esto parece ciencia ficción, pero no lo es”, dijo. Aunque Amazon después aclaró que las entregas aéreas requerirán algunos cambios en las reglas federales. En 2015 la industria de los Drones de consumo ha ido viento en popa. Sin embargo, no todo ha sido bueno. Tal vez la mayor desilusión y una que aún deja un sabor amargo en la boca de algunas personas fue el desastre del Drone Lily Camera. (Olive,2018).

A pesar de acumular 34 millones en pedidos anticipados, la compañía original detrás de esta cámara inteligente de vuelo terminó por declararse en bancarrota y apagarse después de una serie de retrasos. Fue una lección difícil para muchos entusiastas de los Drones.

En 2016 uno de los mejores fabricantes de Drones en el mercado, el Phantom 4 de DJI, introdujo la visión inteligente de una computadora y la tecnología de aprendizaje automático. (Olive,2018).

Esto permitió evitar obstáculos y rastrear (y fotografiar) de forma inteligente personas, animales u objetos, en lugar de limitarse a seguir una señal de GPS. Fue un hito importante para la fotografía de Drones y los Drones de consumo en general. (Olive,2018).

Figura 2.18 Drones Inteligentes Phantom 4.



Fuente: www.djistore.com.bo

2.19. Definiciones de drones.

El control de los drones puede realizarse bien autónomamente o desde tierra utilizando planes de vuelo programados. Se caracterizan por no llevar a bordo un operador humano o los equipos asociados a ellos.

Un dron precisa para su correcto funcionamiento de una infraestructura especial y generalmente se debería hablar más de Sistemas Aéreos no Tripulados (UAV) que de vehículos simplemente. Un UAV se compone de:

- Segmento aéreo: integrado por la plataforma aérea, su carga útil y la parte del sistema de comunicaciones que transporta.
- Segmento terreno: incluye un sistema de control de la plataforma aérea, y los equipos de comunicaciones y estación que permiten recibir la información

obtenida por los sensores, además de los elementos de lanzamiento y recuperación de la plataforma aérea.

En la actualidad estos sistemas se utilizan para aplicaciones tanto en el ámbito militar como en el civil. Para la denominación de estos vehículos en uso civil se ha empezado a utilizar en Estados Unidos y la Unión Europea el término Remotely Piloted Aircraft (RPAS). Este concepto surgió para evitar la desconfianza de la población, la cual pensaba que éstos no estaban dirigidos por nadie. (Insights,2019)

2.20. Tipos de drones.

Existen diferentes tipos de clasificaciones de los RPAs pero vamos a centrarnos exclusivamente en los tipos de Drones en función de su tipo de sustentación. Así, tenemos:

Drones de ala fija .

Los Drones de ala fija son aeronaves que poseen un perfil alar que permite que la aeronave pueda moverse a través del aire y sea capaz de generar fuerzas sustentadoras para mantenerse en el aire. Este tipo de Drones tienen una estética muy similar a los aeromodelos de radiocontrol.

La principal característica de este tipo de Drones es la gran autonomía que nos ofrecen ya que pueden estar volando varias horas gracias a su eficiencia aerodinámica. Los Drones de ala fija son ideales para mapear grandes superficies de terreno ya que con una única batería se cubren grandes extensiones de terreno. Por este motivo son Drones muy utilizados en trabajos de agricultura de precisión y de fotogrametría.

A diferencia de los Drones de ala rotatoria, con este tipo de Drones no es posible realizar vuelos estacionarios. Por tanto, no podremos realizar trabajos que requieran que el dron este volando fijo a una altura determinada como pueden ser, por ejemplo, los trabajos de inspección.

Otra particularidad de este tipo de Drones es que no pueden despegar ni aterrizar en vertical. Para el despegue de un Dron de ala fija necesitaremos una persona que se encargue de lanzarlo a mano o disponer directamente de una catapulta. La gran mayoría de los Drones de ala fija actuales ya son capaces de realizar aterrizajes de forma autónoma,

pero hay que tener en cuenta que se necesita una superficie lo suficientemente grande y en buen estado para que el Dron no sufra ningún percance. (Insghits,2019)

Figura 2.19 Dron de ala fija.



Fuente: www.elvuelodeldrone.com.bo

Drones de ala rotatoria

Los Drones de ala rotatoria, o más conocidos como multirrotores, son los tipos de Drone más extendidos y más utilizados por los profesionales del sector. Si bien es cierto que existen otros tipos de Drones de ala rotatoria, solamente vamos a analizar los multirrotores por ser los Drones más comunes del mercado.

La principal diferencia de los multirrotores con respecto a los Drones de ala fija radica en la forma en la que consiguen mantenerse en el aire. Mientras que los Drones de ala fija consiguen la sustentación a través de su perfil alar, los multirrotores generan la sustentación a través de las fuerzas que generan las hélices de sus rotores.

Según el número rotores que monte el Dron existen: tricópteros (3 motores), cuadricópteros (4 motores), hexacópteros (6 motores) y octacópteros (8 motores). (Insghits,2019).

Figura 2.20 Dron de ala rotatoria



Fuente: www.Iberfdrone.com.bo

La principal característica de los multirrotores es su versatilidad. De una forma sencilla se le pueden instalar diferentes tipos de cámaras (cámaras RGB, multiespectrales, termográficas) que nos permiten realizar un gran abanico de trabajos. Además, con este tipo de Drones vamos a poder realizar vuelos estacionarios lo que nos va a permitir realizar ciertos trabajos que con un Dron de ala fija sería imposible realizar como, por ejemplo, trabajos de inspección.

Los multirrotores son capaces de despegar y aterrizar de forma vertical. La puesta en marcha de este tipo de Drones es mucho más rápida que con los Drones de ala fija ya que pueden despegar y aterrizar prácticamente desde cualquier lugar al no necesitar de una superficie de terreno adecuada para ello.

El principal inconveniente de este tipo de Drones es su autonomía. Los multirrotores tienen un elevado consumo energético debido a la necesidad de que todos sus rotores deben de estar en funcionamiento para que la aeronave permanezca en el aire. En el mejor de los casos nos van a ofrecer unos 20 minutos de vuelo. Por tanto, si se necesitan mapear grandes extensiones es inevitable disponer de varios juegos de baterías con el sobrecoste en tiempo y dinero que esto conlleva.

Como vemos, existen diferentes clases de Drones y tanto los Drones de ala fija como los de ala rotatoria tienen sus ventajas e inconvenientes. La elección entre un tipo de Drone u otro dependerá de las características del tipo de trabajo a realizar. (Insights,2019)

2.21. Aplicación civil de drones

En el uso civil es donde los Drones han despuntado en los últimos años, y es donde se encuadra este proyecto. Dentro de la fotogrametría aérea el uso de este tipo de sensores para la adquisición de imágenes aéreas y captura de datos, se trata de un sistema más novedoso y en pleno auge que tendrá gran aceptación en pocos años.

Hasta el momento, han sido pocos los modelos que se han desarrollado para su uso en aplicaciones civiles. Es importante incidir en la trascendencia de los cometidos civiles de las aeronaves no tripuladas, y en el deficiente desarrollo de tales sistemas en labores que pueden ser muy importantes, fundamentalmente por su autonomía, uso de sistemas de detección en el espectro visible, infrarrojos (IR), radar, visión nocturna, etc.

Entre las principales aplicaciones en el ámbito civil nos encontramos:

- Control de tráfico e inspección de carreteras, vías y líneas de transporte en general.
- Misiones de control policial, fronteras y/o terrorismo.
- Topografía: fotografía aérea con realización de mapas y deslinde de fincas (uso catastral).
- Control de cosechas, agricultura y paisaje (uso de suelos).
- Investigación del entorno ecológico y meteorológico: cambio climático, catástrofes naturales y seguimiento.
- Localización de accidentes en lugares de difícil acceso.
- Gestión de crisis originadas por desastres naturales, como inundaciones o terremotos.
- Seguimiento de movimientos migratorios, recuento de animales, plagas y detección de bancos de pesca.
- Rápida detección de incendios y el seguimiento de su evolución.
- Inspección de líneas eléctricas de alto voltaje.
- Comunicaciones de telefonía móvil e internet.
- Dentro del ámbito de la topografía, también cabe destacar su uso en Ingeniería Geomática para la generación de modelos digitales del terreno y ortofotos.

Una variante de los drones son los microdrones. Estos son más pequeños y permiten realizar con éxito muchas de las aplicaciones civiles que hemos nombrado anteriormente, como son la fotografía aérea y periodística, televisión, policía, servicios de seguridad, protección medioambiental, observación, exploración, comunicación, etc.

Figura 2.21 Drones en aplicación civil



Fuente: www.uc3m.es

Vemos que los drones son una herramienta de gran desarrollo que cada vez más complementa la toma de datos para numerosos y diferentes fines. (Insights,2019)

2.22. Aplicación en ingeniería civil

Según Llorente (2024) Los Drones son, relativamente de más fácil adquisición y son también objeto de estudio.

Algunas aplicaciones de los Drones dentro del campo de la ingeniería civil:

- Aplicaciones al control de calidad del aire.
- Aplicaciones cartográficas. Mediante la creación de mapas catastrales a través de la digitalización de las orto fotografías georreferenciadas.
- Aplicaciones a la prospección y explotación de recursos minerales.
- Aplicaciones hidrológicas.
- Aplicaciones en agricultura. Como identificación de tipos de cultivo, recuento de plantas, medición del índice de área foliar, identificación de tipos de suelo y

humedad de suelo, medición de la altura de la planta, control deficiencias de nitrógeno, estimación de la biomasa, etc.

- Aplicaciones en el control de obras y evaluación de impactos.
- Aplicaciones en la gestión del patrimonio y herencia cultural.
- Aplicaciones urbanísticas.

Figura 2.22 Control de obras



Fuente: www.caminoscastillayleon.es

2.23. Integración en el espacio aéreo

Los sistemas con plataforma aérea no tripulada ya sean de uso militar o de uso civil deben operar en muchos casos, en un espacio aéreo cuya estructura, gestión y control están diseñados para aeronaves tripuladas y que exige a todas las aeronaves que lo utilizan un alto grado de seguridad.

Gran parte de los drones ya existentes o en desarrollo, sobre todo los denominados hale, male o de largo alcance, están diseñados para operaciones o misiones que exigen una utilización amplia del espacio aéreo, ya sea el espacio de responsabilidad nacional o el espacio transnacional.

Hoy por hoy, estas aeronaves no tripuladas se ven obligadas a operar en espacios aéreos segregados o restringidos, utilizando pasillos abiertos temporalmente para el acceso a la zona de trabajo, en los que no se presenten conflictos con los vuelos tripulados. Esta es la situación actual, hasta que las autoridades aeronáuticas consideren que dichas aeronaves han alcanzado un "nivel de seguridad equivalente" al de la aviación convencional y no

representan un riesgo adicional para el tráfico aéreo o los bienes en tierra, momento a partir del cual podrán operarse estas plataformas compartiendo el espacio aéreo con la aviación convencional. (Llorente,2014).

2.23.1. Iniciativas a la integración

Los estudios sobre la integración de los drones en el espacio aéreo están siendo abordados desde hace años, por un gran número de organizaciones internacionales de la aviación civil (EUROCONTROL, EASA, FAA, OACI) y defensa (OTAN, EDA...), asistidos por empresas de estudios en el sector aeronáutico y por la industria.

Actualmente no existe un único organismo que lidere las iniciativas sobre la integración de los drones, lo que está produciendo una gran dispersión de esfuerzos, de modo que se desarrollan estudios paralelos en función del organismo que lo promueve, o bien se desarrollan soluciones transitorias en tanto no se consoliden los criterios y la solución aportada por los diferentes grupos de trabajo.

En determinados aspectos los Estados Unidos y Europa siguen procesos independientes, al menos en la metodología para abordar algunos temas sobre integración, aunque en determinadas aéreas han acordado especificaciones. (kieffer,1991).

2.24. Sistemas aéreos no tripulados en Bolivia

La Dirección General de Aeronáutica Civil, como institución máxima del control aéreo en Bolivia, carece de un marco regulatorio lo cual representa un obstáculo para el empleo de estos sistemas en los espacios aéreos controlados, así como una amenaza para la seguridad nacional y particular. (kieffer,1991).

2.24.1. Desarrollo de los Drones en Bolivia

Existen numerosas razones para desarrollar el negocio de los drones en Bolivia, entre ellas podemos destacar:

El uso de los Drones o vehículos aéreos no tripulados se masifican en América Latina, pero con legislación débiles o inexistentes que abren paso a las múltiples funciones de estos aparatos, desde el reconocimiento de áreas de difícil acceso hasta para el monitoreo

de recursos naturales, la seguridad ciudadana, lucha contra el narcotráfico, el contrabando y deforestación.

En el panorama actual Bolivia está obligada a entrar en esta corriente y prepararse ante posibles arremetidas tecnológicas de sus vecinos.

Con la aparición de la compañía DJI en Bolivia, las personas podrán tener acceso a drones de última tecnología, además de recibir una calidad en el servicio y una asesoría correspondiente. (Kieffer, 1991).

2.25. Fotogrametría con drones

Fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado.

Esta definición es en esencia, la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS).

En la actualidad, el uso de Drones ha generalizado el uso de la fotogrametría aérea en muchos más campos de los que anteriormente estaba disponible. En realidad, las técnicas que ahora utilizamos se basan en las tradicionales, pero los requerimientos, el equipamiento necesario y la complejidad de las operaciones se ha reducido sustancialmente.

Aunque la inmensa mayoría de personas asocian el uso de Drones al sector audiovisual, bien es cierto que cada vez más empiezan a conocer sus otros muchos usos. Uno de los más relevantes es el uso en topografía y cartografía, realizando la técnica llamada fotogrametría para hacer levantamientos 3D, cálculos de volúmenes etc.

Los Drones portan cámaras fotográficas y de vídeo. Esto viene bien desde luego para capturar imágenes aéreas, pero también para que estas imágenes, concretamente fotografías, sirvan para obtener modelos que den una serie de datos muy útiles en muchos campos. Imaginemos una mina de carbón, en la cual se apilan una serie de montones al ser extraído el material.

Actualmente un equipo de topógrafos andando y de forma manual, realizan una serie de cálculos matemáticos para estimar el volumen que tiene cada montón. La precisión de estos cálculos tiene errores importantes que en general son asumidos como algo normal. Con los Drones y marcando previamente una serie de puntos de control, se pueden obtener cálculos increíblemente precisos del volumen exacto.

Además, un Dron puede hacer en una mañana el trabajo que harían varios técnicos durante una semana o más. En algunos casos en el sector minero, además se suma la peligrosidad de algunos trabajos con materiales tóxicos, lo que permite con los Drones reducir considerablemente los riesgos laborales.

El proceso consiste en el vuelo y captación de fotografías en primer lugar. Luego dichas imágenes son procesadas mediante programas específicos para la obtención de los modelos 3D y Ortomosaicos, como Pix4D o Agisoft PhotoScan entre otros. Los ortomosaicos obtenidos pueden alcanzar hasta 1 centímetro de GSD (Ground Sample Distance), es decir, un píxel de la imagen generada representa un cuadrado de 1 centímetro de lado en la realidad. Precisiones idóneas.

La Distancia de muestreo en el suelo (GSD) es la distancia entre el centro de dos píxeles consecutivos en el suelo. Influye en la precisión y la calidad de los resultados finales, así como en los detalles que son visibles en el ortomosaico final.

Por otro lado, mediante programas SIG (Sistemas de Información Geográfica) es posible tratar los resultados para poder medir coordenadas, distancias, áreas, e incluso volúmenes. Además, es posible generar curvas de nivel, realizar perfiles, y elaborar MDE. (Zima,2018).

2.25.1. Procesos de levantamiento topográfico con dron

La escala de trabajo de los Dron los convierte en una herramienta ideal para cubrir la brecha existente entre los levantamientos con aerofotografía y los levantamientos convencionales por tierra.

Uno de los principales obstáculos para realizar levantamientos con Dron es la vegetación (a menos que se cuente con un sensor lidar), por lo cual los Drones y la topografía

tradicional se utilizarán siempre como complementos y no como un reemplazo una técnica de la otra. (Geodrones,2019).

Los pasos a seguir para realizar un levantamiento fotogramétrico con Drones son los siguientes:

Inspección de la zona de estudio

Como en cualquier trabajo topográfico, es necesario que primero se haga una revisión de la zona de estudio, preferentemente con visita a campo. De no ser posible, se realiza con el archivo kmz montado en google earth que proporcione el cliente. Cosas importantes a considerar en este punto: la presencia de vegetación, ya que no implica el mismo trabajo realizar un levantamiento en una zona completamente despejada de vegetación que en la selva chiapaneca. Otro punto importante es la morfología del terreno, es decir, si la superficie es plana, es una sierra, un tajo o zonas con pendientes muy pronunciadas. (Geodrones,2019).

Puntos de control terrestre

Al momento de hacer un levantamiento topográfico con Drones, siempre necesitamos poner puntos de control (GCP). Estos puntos nos ayudarán a orientar nuestro levantamiento a un sistema de referencia para alcanzar la exactitud y precisión requeridas tanto en planimetría como en altimetría. Para poner puntos de control se necesita un sistema de GPS diferencial o RTK. Los puntos deben estar marcados (algunos lo hacen con cal, pintura, dianas) para que se aprecien en las imágenes aéreas. (Geodrones,2019).

Planificación y Ejecución del vuelo

Existen muchas aplicaciones móviles para planear vuelos de Drones, la elección de la más adecuada dependerá siempre del objetivo del proyecto y de la marca del dron. Los elementos más importantes al planear un vuelo fotogramétrico de manera tradicional eran; el número de líneas de vuelo, la altura de vuelo, la velocidad del avión/avioneta, el porcentaje de sobre posición de las imágenes tanto con las imágenes de su misma línea de vuelo como con las de líneas adyacentes, entre otros.

El objetivo es cubrir cada parte del terreno, por pequeña que sea, para visualizarlo de manera estereoscópica. En los vuelos con drones, las aplicaciones móviles de planeación

son muy flexibles, sin embargo, es necesario conocer el fundamento fotogramétrico que permitirá llevar a cabo un buen trabajo. Los vuelos fotogramétricos con Drones combinan la precisión y detalle de una visita al campo con la cobertura y alcance de una aeronave.

Además, vuelan por debajo de la cobertura de nubes, lo que permite emplearlos en gran variedad de condiciones climáticas. Dependiendo de la plataforma aérea y prestaciones del equipo empleado, son ideales para cubrir extensiones desde cientos hasta miles de hectáreas y desde decenas hasta cientos de kilómetros lineales. Todo ello en poco tiempo, bajos costos de logística y reducción en el trabajo de campo y riesgo humano. El rol del Drone en el trabajo de levantamientos topográficos es el de adquirir la data del campo mediante la toma georreferenciada de fotografías aéreas verticales consecutivas y homogéneas que se traslapan entre ellas a fin de crear pares estereoscópicos entre las fotos. Luego las imágenes son procesadas por software especializado que, tomando la información de calibración de la cámara, el punto donde se tomó la foto y las coincidencias entre las múltiples fotos, interpreta y genera la nube de puntos georreferenciada de la superficie del terreno sobrevolado. El efecto final es similar al de un escáner de superficie laser, con el complemento de la información del color en cada punto, lo que permite obtener a la vez tanto la malla como la textura de la superficie. La nube de puntos es similar a los puntos que se toman en el terreno para un levantamiento manual, con la diferencia de la densidad del muestreo. En grandes extensiones la densidad manual puede llegar a cuadrículas de 25, 50 y más metros. En el escaneo con dron esta misma cuadrícula de puntos se reduce a solo centímetros, creando un modelo de la superficie totalmente detallado. A partir de la nube de puntos se puede reconstruir y texturizar la malla del terreno, que no es otra cosa que la superficie del terreno digitalizada. A partir de esta malla es posible generar cortes y curvas de nivel, medir volúmenes y realizar todos los trabajos necesarios, bien sea en software de ingeniería o GIS. Las fotografías aéreas son el insumo básico para la creación de la nube de puntos y por lo tanto depende de su calidad y precisión el correcto resultado de todos los sucesivos pasos. (Geodrones,2019).

2.26. Precisión, resolución y calidad

La resolución se expresa en pixeles/cm y representa el tamaño que ocupa cada pixel en la foto realizada. Dependiendo de las necesidades de cada proyecto es posible obtener resoluciones que van desde 1cm/pixel hasta 12cm/pixel.

Para ello pueden variar el tipo de lente, resolución de la cámara y altura de vuelo. Por regla general, mayor resolución implica volar más bajo y más lento, lo que exige más tiempo en el aire, lo que a su vez implica realizar más vuelos.

Es importante determinar la necesidad final de resolución para optimizar la altura y velocidad de los vuelos, a fin de maximizar la eficiencia del equipo en campo. Se necesita que la foto sea nítida para alcanzar la resolución real de la cámara, pues de lo contrario, en una foto borrosa, movida o de poca resolución, no se podrá identificar con precisión los puntos de control ni realizar de manera eficaz la triangulación de la información.

La nitidez significa que la imagen adquirida por el Drone es estática, sin movimiento. En esto juega un papel fundamental el tamaño del sensor: Un sensor grande y sensible permite capturar más luz en menos tiempo, con un mejor lente, con menor distorsión y sin distorsiones de compresión. En comparación, los Drones utilitarios y livianos emplean cámaras con sensores pequeños y lentes de plástico, que comprimen la información y generan “artifacts” en la imagen que es percibida al analizar los pixeles. Estos lentes y sensores van bien para fotos y video, pero no para análisis fotogramétricos. (Grijalba,2018)

2.27. Dron “DJI Phantom 4 PRO V2.0”

Con un sensor CMOS de 1 pulgada que puede grabar videos 4K / 60fps y fotos de 20MP, el Phantom 4 Pro V2.0 otorga a los cineastas una libertad creativa absoluta. El sistema de transmisión OcuSync 2.0 HD garantiza una conectividad estable y confiabilidad, cinco direcciones de detección de obstáculos garantizan una seguridad adicional y un control remoto dedicado con una pantalla incorporada otorga una precisión y un control aún mayores. Una amplia gama de funciones inteligentes hace que volar sea mucho más fácil. El Phantom 4 Pro V2.0 es una solución completa de imágenes aéreas, diseñada para el creador profesional. (Phantom4pro, 2017)

Figura 2.23 Dji phantom 4 pro v2.0



Fuente: www.Drontebo.com.bo

2.27.1. Levantamientos topográficos con “dji phantom 4 pro v2.0”

En la actualidad, una de las técnicas más utilizadas para realizar levantamientos topográficos es la fotogrametría aérea. Esta técnica utiliza imágenes aéreas para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales. Por lo tanto, se obtiene información tridimensional a partir de imágenes bidimensionales.

En topografía, el dji phantom 4 pro v2.0 se lo utiliza sobre todo para recoger información visual detallada del terreno, con el objetivo de poder actualizar mapas o mejorar su nivel de detalle. También para facilitar las actualizaciones catastrales, así como para estudiar el estado del terreno.

Este tipo de aeronave brinda muchos beneficios a la hora de realizar levantamientos topográficos, ya que con esta aeronave podemos realizar lo siguiente:

Creación de mapas topográficos tridimensionales: Los mapas en tres dimensiones generados a partir de las imágenes y los datos recogidos por el dji phantom 4 pro v2.0 son mucho más precisos que los desarrollados mediante sistemas tradicionales, además, se pueden generar con mucha más rapidez. Aparte conseguir más cobertura y hacerlo con más rapidez, los drones pueden recoger mucha información y capturar varios millones de

puntos del terreno, mientras que con otros sistemas sólo se pueden obtener unas cuantas decenas. Esto, unido a las fotografías con los que se pueden obtener otros datos, como colores del terreno, hacen que una vez tratada toda la información, los mapas resultantes tengan un margen de error de menos de entre uno y cinco centímetros.

Estudio de una zona de cara a la realización de una obra: en la planificación de grandes obras públicas es importante tener bien estudiado el terreno que se verá afectado, y esta pequeña y rápida aeronaves permiten hacerlo con mucha rapidez y precisión. Gracias a los datos y las fotografías obtenidas se pueden observar con precisión el tipo de terreno o los accidentes geográficos que pueden afectar, por ejemplo, al trazado de una autovía o una vía férrea.

Captura un mayor número de puntos para crear las planimetrías: El levantamiento topográfico con el dji phantom 4 pro v2.0, debido a su cámara de última generación aporta mucha más información gráfica que un levantamiento tradicional. Por otra parte, la información es mucho más completa en cuanto a color de las fotografías, lo que consigue una mayor resolución y realismo del terreno.

Actualización del catastro de un área determinada: la administración pública tiene que encargarse con cierta periodicidad de realizar revisiones catastrales, un proceso larguísimo sin la ayuda de los drones, que no sólo permiten detectar construcciones no declaradas o mejoras en fincas, sin llamar mucho la atención, un proceso de vital importancia para los ayuntamientos, sino también comprobar con precisión las lindes de los terrenos examinados.

El principal factor de la utilización de este equipo es brindar la seguridad, al topógrafo ya que este no necesita transportar la estación a lugares potencialmente peligrosos, con lo que los riesgos en esta profesión se minimizan.

El dji phantom 4 pro v2.0 en la topografía ha conseguido que la fotogrametría sea más asequible y sea, en cierto modo, más accesible para el público o persona que posea este equipo. "Esta técnica da el poder de hacer un vuelo cuando quiero, de la zona que yo quiero y en cuestión de minutos poder tener el modelo digital a partir de esas imágenes. En otros sectores puede estar más en entredicho esta tecnología. En este sector está más

que contrastada", en cuanto a la proyección presente y futura de esta aplicación de los drones en la topografía.

Los topógrafos tienen en los Drones unos auténticos aliados. Sin ellos, cubrir grandes extensiones de terreno para realizar las mediciones necesarias es una tarea que puede llevarles varios meses.

Además, por muy preciso que sea el equipo que lleven siempre tendrán dificultades para acceder a determinadas zonas en caso de que haya muchos accidentes geográficos y el acceso a ellas sea complicado. Pero con uno de estos aparatos voladores, todo cambia. (Phantom4pro, 2017).

2.28. Ventajas de los drones

Velocidad y gran cobertura.

Los drones se mueven a gran velocidad (12-18 m/s) y capturan grandes cantidades de datos sobre la marcha, lo que permite cartografiar grandes áreas hasta 10 veces más rápido que con los métodos terrestres. (Zima,2018).

Eficiencia y seguridad

Dado que los drones vuelan a gran altura por encima del sitio, las zonas inaccesibles o peligrosas pueden cartografiarse sin riesgo, además de sin el tiempo de inactividad para los emplazamientos que provocan los levantamientos terrestres. (Zima,2018).

Mayor precisión

En lugar de los datos punto a punto que se obtienen con los métodos tradicionales de topografía, los estudios con drones capturan toda el área de estudio. Una nube formada por millones de puntos de datos permite elegir los componentes de datos que se necesitan y evitar que se pierdan características del terreno potencialmente importantes en el estudio. (Zima,2018).

Aumento de la capacidad topográfica

La fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados no se ve afectada por las nubes y las inclemencias del tiempo, y los datos son propiedad del usuario, en lugar de que los derechos de los datos sean retenidos por terceros. (Zima,2018).

Función de topografía con drones

Es bien sabido que, si se ve una característica desde tres o más posiciones conocidas, se puede calcular la ubicación de las características en x, y y z con mucha precisión.

La fotogrametría con drones funciona exactamente con este método. El dron toma fotos superpuestas de un área con su cámara a bordo, y cada imagen tiene una geoetiqueta precisa de su posición x, y, z. Las imágenes y los datos del GPS se descargan del dron, y un software de fotogrametría como Pix4D, Metashape o Agisoft scan, puede comparar cada imagen y calcular características únicas dentro de cada imagen (conocidas como puntos de enlace), que luego se unen en una "nube de puntos" que se explica con más detalle a continuación.

Para aumentar la precisión del estudio con drones, se pueden utilizar puntos conocidos sobre el terreno, denominados puntos de control del terreno (GCP), que se identifican en el software de fotogrametría para aumentar la precisión general del modelo.

Otra forma de aumentar la precisión es utilizar la cinemática en tiempo real (RTK) o la cinemática de posprocesamiento (PPK), en las que la geoetiqueta generada a bordo del dron se corrige utilizando datos de una estación base GNSS independiente en tierra. (Zima,2018).

Resultados de topografía con dron

Las nubes de puntos son esencialmente la forma más sencilla de los modelos 3D. Son colecciones de puntos individuales trazados en el espacio 3D. Cada punto contiene varias medidas, incluidas sus coordenadas a lo largo de los ejes X, Y y Z, y a veces datos adicionales como un valor de color, que se almacena en formato RGB. (Zima,2018).

Ortofoto.

Una ortofoto es una imagen aérea que ha sido corregida geoméricamente para eliminar los efectos del terreno, las distorsiones resultantes del objetivo de la cámara y el ángulo y la altura desde los que se tomó la foto en el dron. El objetivo de una ortofoto es tener una imagen cosida en la que las medidas de distancia sean las mismas en toda la imagen, y con una referencia geográfica a la Tierra, de modo que cada píxel de la foto pueda utilizarse con precisión para realizar mediciones topográficas útiles.

2.29. Precisión de los vuelos.

Las soluciones de topografía con drones pueden producir levantamientos con diferentes grados de precisión, dependiendo de los requisitos del proyecto y de las capacidades del dron.

Con la ayuda de PPK, RTK, puntos de control en tierra, es posible alcanzar precisiones de hasta 1 cm en el absoluto.

Como regla general, la precisión de los levantamientos con drones es aproximadamente de 2 a 3 veces la resolución sobre el terreno del modelo. Así, si sus imágenes tienen una resolución de píxeles de 0,8 cm sobre el terreno (conocida como distancia de muestreo del terreno o GSD), la precisión esperada será de 1,5 a 2,5 cm.

2.30. Normas técnicas para levantamientos Aerofotogramétricos en México.

De acuerdo con la Ley de Información Estadística y Geográfica y su Reglamento, las presentes normas son obligatorias para las dependencias y entidades de la administración pública federal.

I. Especificaciones de vuelo.

I.I Proyecto de vuelo.

De acuerdo con los objetivos de los levantamientos Aerofotogramétricos, las dependencias y entidades interesadas, elaborarán un proyecto de vuelo que deberá expresarse sobre mapas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) a la escala conveniente.

El Proyecto de Vuelo deberá mostrar:

- Delimitación del área por fotografiar.
- Número de líneas que deberán volarse y dirección del vuelo.
- Número de fotos de cada línea,
- Escala de las fotografías.
- Alturas de vuelo sobre el nivel medio del terreno a fotografiar.
- El porcentaje de sobreposición longitudinal y lateral.

- Tipo de cámara, época del año más probable en que se tomarán las fotografías, tipo de película y filtros a utilizar.
- Tiempo estimado en horas y días para la realización del proyecto.

En caso de trabajos para la administración pública federal, y para escalas 1:75,000; 1:40,000. 1:37.500 y 1:20,000, la dirección del vuelo deberá ser norte-sur y la posición de cada línea deberá coincidir con la posición de las líneas de vuelo del Sistema Nacional de Fotografía Aérea (SINFA). Para escalas diferentes a las mencionadas, y cuando el proyecto así lo requiera, podrá seguirse otra dirección de vuelo según convenga al proyecto.

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática pondrá a disposición de los usuarios, que así lo soliciten, las coordenadas de los ejes de las líneas de vuelo para el SINFA en las escalas mencionadas.

I.2 Permisos

La dependencia, entidad o el tercero contratado por éstas, así como los particulares que ejecuten vuelos fotográficos, para cada proyecto, deberán tramitar los permisos oficiales de vuelo fotográfico que expide el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y los que correspondan a otras instancias.

I.3 Aviones

La operación y el mantenimiento de los aviones utilizados para la toma de fotografía aérea, deberán sujetarse a lo que establece la Ley de Vías Generales de Comunicación y sus Reglamentos.

I.4 Sistemas de navegación

Para el levantamiento fotográfico, deberá seguirse, al menos, el procedimiento de navegación visual auxiliado por una mira de navegación que permita determinar la deriva, e intervalo de disparo entre fotografías.

Para los vuelos que se realicen por encargo de la administración pública federal deberán usarse sistemas de navegación basados en el sistema de posicionamiento global (GPS) o sistemas que produzcan una precisión similar o mayor a éstos.

I.5 Cámaras

Las cámaras que se utilicen en levantamientos Aerofotogramétricos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener la posibilidad de corrección manual de giros alrededor de los ejes de la cámara.
- Distorsión radial máxima de 10 micras.
- Poder de resolución de por lo menos 60 líneas por milímetro al centro de la lente.
- En los trabajos que se realicen para la administración pública federal, deberán utilizarse cámaras con compensación de movimiento de imagen, valores máximos de distorsión radial promedio del orden de tres micras y poder de resolución en el área de la fotografía de cuando menos 80 líneas por milímetro.
- Deben estar equipadas con reloj para marcar la hora de la toma de cada fotografía.
- Las cámaras aéreas se deberán calibrar por lo menos una vez cada dos años o cada 10,000 disparos.

Los elementos mínimos que debe contener un certificado de calibración son:

- Nombre de la institución donde se efectuó la calibración.
- Fecha de calibración.
- Nombre del fabricante y tipo de cámara.
- Número de serie del cono de la cámara.
- Distancia principal calibrada.
- Coordenadas del punto de óptima simetría.
- Coordenadas del punto principal de autocolimación.
- Coordenadas del centro fiducial, siempre que éste no haya sido tomado como origen en la medida de coordenadas durante la calibración.
- Coordenadas de cada una de las marcas fiduciales.
- Datos de distorsión radial de la lente para cada semidiagonal, y/o datos promedio de distorsión radial.

Los certificados de calibración originales deben estar en poder de la entidad que realizó el vuelo y a su vez debe proporcionar copia del mismo al usuario que lo solicite.

I.6 Filtros

El filtro se deberá montar enfrente del lente y debe considerarse como una parte del sistema óptico de la cámara. Una cámara deberá calibrarse con el filtro que se usará. Si se usa más de un filtro, deberán hacerse calibraciones por separado con cada filtro.

I.7 Película aérea

La película deberá tener una base dimensionalmente estable, no haber llegado a la fecha de vencimiento al momento de la toma, manejarse y almacenarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante; deberá seleccionarse tomando en cuenta las características requeridas de imagen; su resolución no deberá ser menor que la resolución de la lente.

II. Especificaciones de toma

II.1 Cubrimiento del área

El vuelo fotográfico deberá extenderse lo suficiente, más allá del área del proyecto, a fin de garantizar un cubrimiento estereoscópico completo, en caso de utilizar navegadores basados en GPS, la primera y última foto de cada línea podrán ser tomadas en los límites del área, de forma tal que el centro de la fotografía sea el límite.

Las líneas de vuelo no deberán interrumpirse, en caso de que esto llegare a ocurrir, la continuación de la línea se llevará a cabo tomando como mínimo 5 fotos anteriores a la última foto donde se originó el corte, de modo que se asegure la continuidad de la línea.

En caso de utilizar navegadores basados en GPS, deberán repetirse al menos dos fotografías anteriores a la última foto donde se originó el corte. Cuando se requiera hacer unos cubrimientos de huecos deberán tomarse al menos 2 fotografías antes y 2 fotografías después del hueco. Tanto en caso de huecos como en caso de continuidad de líneas de vuelo, las fotos complementarias deberán ser tomadas, en lo posible, con el mismo cono orientadas en la misma dirección, en condiciones de iluminación semejantes de la línea original y a la misma altura del vuelo del resto de la línea.

Debe ser reservado, al principio o al final del rollo, un tramo de película (leader), de 10 fotografías para pruebas de procesamiento.

Estas fotografías deben ser representativas del terreno cubierto en el rollo expuesto. Las fotografías de prueba deben ser expuestas a una altitud, apertura de diafragma y exposición semejante a las de la mayoría del rollo.

II.2 Nubosidad

El área total de una fotografía no debe estar cubierta en más de un 7% por nubes o sombras de nubes, y ninguna nube individual deberá cubrir más del 3% del área fotográfica.

Las nubes o sombras de nubes no deberán cubrir los puntos principales ni sus homólogos.

Para el conjunto de una línea o bloque, la nubosidad y las sombras promedio no deberán exceder del 7% del área y deberá estar exenta de marcas estáticas, humo, bruma y nieve.

En casos de áreas urbanas no deberán existir nubes o sombras de las mismas.

II.3 Posición de las líneas

Las líneas de vuelo deberán estar dentro de ± 5 grados de la dirección especificada en el proyecto de vuelo y la dirección promedio entre líneas adyacentes deberá ser paralela de ± 5 grados.

II.4 Giro

Durante el vuelo de cada línea se deberá compensar el giro alrededor del eje vertical para mantenerlo dentro de un máximo de 5 grados.

II.5 Verticalidad

Se deberá mantener la verticalidad del eje de la cámara dentro de 4 grados.

La inclinación relativa entre dos fotografías sucesivas no deberá exceder de 6 grados.

II.6 Sobreposición longitudinal

En lo general, la sobreposición longitudinal promedio entre fotografías sucesivas deberá ser suficiente para proporcionar un cubrimiento estereoscópico completo, deberá darse de acuerdo a las necesidades del proyecto, y con una sobreposición no menor al 55% en caso de fotografías para modelos estereoscópicos.

Cuando se trate de vuelos de los que se derivan ortofotos, debe calcularse la sobreposición necesaria para que cuando menos una fotografía tenga su punto principal en el centro del espacio que cubrirá la ortofoto correspondiente.

II.7 Sobreposición lateral

La sobreposición lateral entre líneas de vuelo adyacentes deberá estar comprendida dentro de $30\% \pm 10$ (20-40%), solamente en caso de extremo relieve las sobreposiciones podrán ser más bajas, pero no menores de 10%.

II.8 Escala de las fotografías

Las variaciones en la escala de las fotografías no deberán ser mayores de + 10% en promedio, con respecto a la escala nominal.

III. Especificaciones de procesamiento

III.1 Procesamiento de negativos

Los rollos de película deberán procesarse preferentemente en una máquina de procesamiento continuo en forma tal que asegure un revelado uniforme. En el caso de los trabajos para la administración pública federal, esta recomendación debe tomarse como norma.

Para asegurar los contrastes adecuados en todos los detalles, en ningún lugar del negativo la densidad deberá ser menor o igual a 0.3 por encima de la densidad de la base excepto en el caso de imágenes de puntos extremadamente brillantes, tales como los debidos a reflexiones especulares de sol. La máxima densidad no debe exceder de 1.6 por encima de la base.

En cada fotografía deberá anotarse claramente en el negativo:

- Zona de trabajo.
- Fecha de toma (día, mes y año).
- Número de línea.
- Número de fotografía.
- Escala media.
- Cuando menos al inicio y terminación de la línea, la distancia focal de la cámara.

- Identificación del proyecto (zona, estado o ciudad).
- Dependencia responsable del vuelo.
- Hora de toma.
- Marcas fiduciales.

III.2 Revisión preliminar

Cada rollo de película aérea debe ser procesada tan pronto como sea posible después que ha sido expuesto, para verificar que las especificaciones de navegación de las líneas de vuelo y la calidad de la imagen cumplen con las presentes normas.

III.3 Calidad del negativo

Los negativos deberán ser nítidos y con detalles bien definidos, de un rango de densidad como se menciona en el párrafo segundo del punto III.1 y tener el grado adecuado de contraste para todos los detalles, para permitir observar con claridad tanto las áreas sombreadas como las iluminadas.

Deberán cumplir con las presentes normas, referentes a procesamiento, nubes, sombras, y otro tipo de obstrucciones, rayas de revelado, nieve, marcas estáticas, roturas, raspones y otras manchas que pudieran interferir con el fin propuesto.

III.4 Estabilidad dimensional

El procedimiento empleado para procesar la película no deberá tener un efecto dañino sobre las características dimensionales de la imagen fotográfica.

En ningún momento durante el revelado, fijado, lavado o secado, deberá la película estar sujeta a una tensión y/o temperatura que cause cambios dimensionales diferenciales superiores a $0.02\% \pm 15$ micrómetros.

III.5 Copias de contacto

Las copias de contacto se harán en papel fotográfico y se someterán a las mismas especificaciones descritas para el procesamiento y calidad de negativos.

Todas las copias que sean objeto de transferencia de información entre dependencias y entidades deben incluir la imagen legible de los instrumentos auxiliares de toma.

III.6 Índice de vuelo

El levantamiento fotográfico deberá registrarse sobre un mapa topográfico del INEGI a escala conveniente, donde se mostrará la localización de todas y cada una de las fotografías tomadas, la escala promedio de cada una de las líneas, el número de rollo donde se encuentran, la fecha de vuelo, las características de la película utilizada y la entidad que efectuó el levantamiento; este índice deberá estar a disposición de quien lo solicite. En caso de que el vuelo sea para una dependencia o entidad federal, deberá entregar, además, un archivo digital donde se expresen la identificación de cada toma y las coordenadas del centro de cada una de las fotografías obtenidas.

IV. Registro de vuelos aerofotográficos

La información aerofotográfica del territorio nacional, se considera de utilidad pública, por lo que todos los levantamientos aerofotográficos deberán ser registrados en el INEGI.

El responsable del vuelo, deberá avisar, de acuerdo al procedimiento de permisos y registros, al término de los trabajos los siguientes datos:

- Lugar del vuelo fotográfico (localidades y/o área que cubre).
- Fecha de vuelo.
- Cámara utilizada (número y distancia focal).
- Escala de fotografías.
- Entidad que realizó el vuelo.
- Entidad que posee los negativos.
- Tipo de película utilizada.

La información anterior deberá acompañarse de un índice de vuelo de acuerdo al punto de estas normas.

El registro de vuelos aerofotográficos estará a disposición del público que lo solicite y podrá ser publicado periódicamente si así se considera conveniente.

Transitorios

Primero. - El presente Acuerdo entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Segundo. - Se abrogan las Normas Técnicas para levantamientos Aerofotográficos, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 29 de marzo de 1985, y se derogan todas las disposiciones que se opongan al presente ordenamiento.

Tercero. - Las disposiciones reglamentarias en uso a la fecha de entrar en vigor del presente Acuerdo, seguirán teniendo aplicación en lo que no se le opongan.

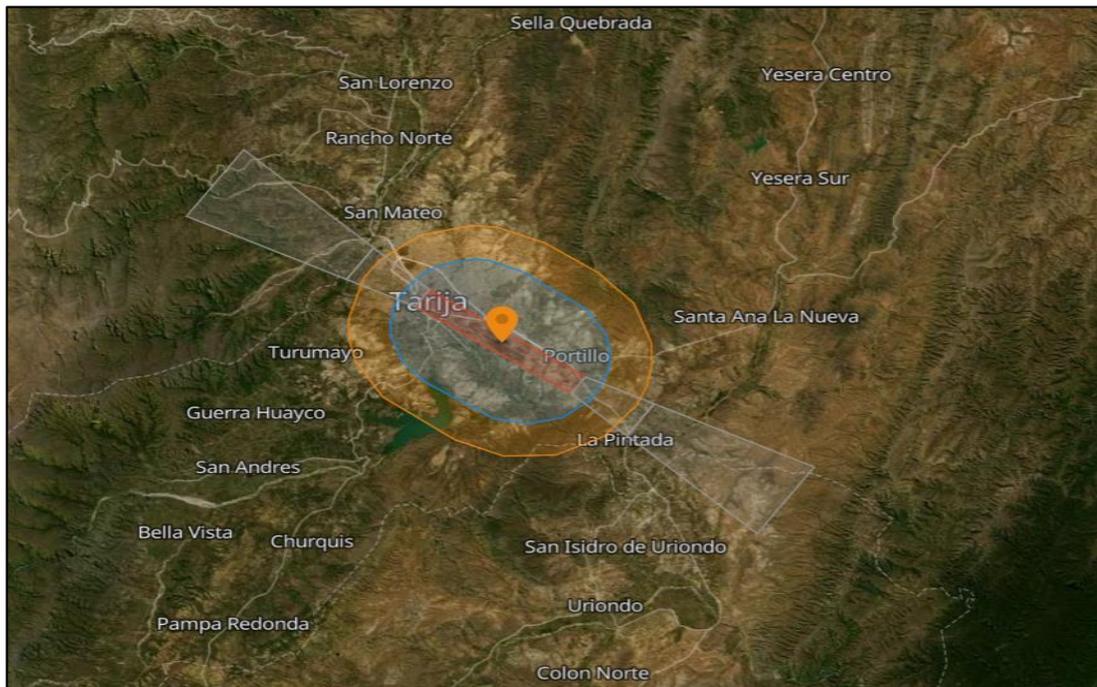
2.31. Alturas de vuelo para drones en Tarija

El sistema GEO de DJI delinea dónde es seguro volar, dónde el vuelo puede generar inquietudes y dónde el vuelo está restringido. Las zonas GEO que prohíben los vuelos se implementan alrededor de lugares como aeropuertos, centrales eléctricas y prisiones. También se implementan temporalmente en torno a eventos importantes en estadios, incendios forestales u otras situaciones de emergencia. Ciertas zonas GEO no prohíben los vuelos, pero activan advertencias que informan a los usuarios sobre riesgos potenciales.

De forma predeterminada, GEO limita los vuelos que entran o despegan dentro de zonas que plantean problemas de seguridad. Si se ha autorizado un vuelo dentro de una de estas ubicaciones, GEO permite a los usuarios con cuentas DJI verificadas desbloquear o autoautorizar temporalmente sus vuelos. Esta función de desbloqueo no está disponible para ubicaciones sensibles de seguridad nacional.

El sistema GEO es sólo de asesoramiento. Cada usuario es responsable de verificar las fuentes oficiales y determinar qué leyes o regulaciones podrían aplicarse a su vuelo. En algunos casos, DJI ha seleccionado parámetros generales ampliamente recomendados sin determinar si esta guía coincide con las regulaciones que pueden aplicarse específicamente a usted. (DJI,s.f.).

Figura 2.24 Altura de vuelo según la zona



Fuente: DJI alturas de vuelo

Zonas DJI GEO

● Zonas restringidas

Zonas restringidas. En estas zonas, que aparecen en rojo en la aplicación DJI, los usuarios recibirán una advertencia y se impedirá el vuelo.

● Zonas de altitud

Zonas de altitud: las zonas de altitud aparecerán en gris en el mapa. Los usuarios reciben advertencias en la aplicación DJI o en la aplicación DJI y la altitud de vuelo es limitada.

● Zonas de autorización

En estas zonas, que aparecen en azul en la aplicación DJI, los usuarios recibirán una advertencia y el vuelo estará limitado de forma predeterminada. Las zonas de autorización pueden ser desbloqueadas por usuarios autorizados utilizando una cuenta verificada de DJI. Altura máxima de vuelo 60m.

Zonas de advertencia

En estas zonas, que no necesariamente aparecen en el mapa de la aplicación DJI, los usuarios recibirán un mensaje de advertencia.

Zonas de advertencia mejoradas

En estas Zonas, GEO le solicitará en el momento del vuelo que desbloquee la zona siguiendo los mismos pasos que en una Zona de autorización, pero no necesita una cuenta verificada ni una conexión a Internet en el momento de su vuelo.

Zonas reglamentarias restringidas

Debido a las regulaciones y políticas locales, los vuelos están prohibidos dentro del alcance de algunas áreas especiales. (Ejemplo: prisión)

Vuelo recomendado

Esta zona se muestra en verde en el mapa. Se recomienda que elija estas áreas para organizar su vuelo.

2.32. GPS

GPS es la abreviatura de Global Positioning System (sistema de posicionamiento global). Es un sistema de posicionamiento por satélites uniformemente espaciados alrededor de su órbita y que nos proporcionan información de puntos que están situados en la superficie terrestre, este proceso se lleva a cabo mediante la transmisión-recepción de señales electromagnéticas. El GPS es un sistema basado en satélites artificiales activos, formando una constelación con un mínimo de 24 de ellos. Permite diferentes rangos de precisión según el tipo de receptor utilizado y la técnica aplicada.

El sistema GPS ha sido desarrollado por el Departamento de Defensa Americano (DoD). Se basa en la constelación NAVSTAR. La metodología nació con el objetivo de mejorar el sistema de satélites de navegación militar TRANSIT (efecto Doppler), muy usado en geodesia desde 1967 en todo el mundo. El primer satélite GPS data de 1978 y la fecha desde la que se considera en funcionamiento el sistema es enero de 1994. Frente al control del sistema GPS por parte del gobierno americano, la Unión Europea está desarrollando su propia constelación de satélites para disponer de un sistema de navegación propio. Este

nuevo sistema se denomina GALILEO y el número de satélites será de 24 a 35. Además, existe un sistema semejante, llamado GLONASS, de patente rusa.

2.32.1. Real Time Kinematic (RTK)

Consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica (1 ó 2 cm + 1ppm). Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. Es un método diferencial o relativo. El receptor fijo o referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil o “rover”, es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local). Precisa de transmisión por algún sistema de telecomunicaciones (vía radio-modem, GSM, GPRS, por satélite u otros) entre REFERENCIA y ROVER. Esta sería una restricción en la utilización de este método (dependencia del alcance de la transmisión). Sus aplicaciones son muchas en el mundo de la topografía, y van desde levantamientos, hasta replanteos en tiempo real, fundamentalmente.

Figura 2.25 Real Time Kinematic



Fuente: RMS geoespacial

2.33. Red Geodésica

Una red geodésica es un conjunto de puntos ubicados en la superficie terrestre en los cuales se determinan su posición geográfica diferencial (latitud, longitud y elevación)

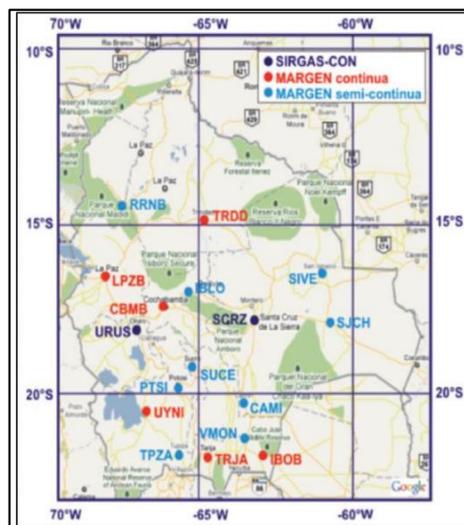
mediante el uso de receptores GPS. Al hablar de posición diferencial geográfica nos referimos a la determinación de coordenadas a partir de puntos con coordenadas conocidas.

La creación de redes geodésicas es con la idea de regular que todos los proyectos topográficos y cartográficos que se realicen, tanto en dependencias estatales, municipales y empresas descentralizadas de servicios que utilicen el área pública municipal para la dotación de dichos servicios, así como de particulares, queden ligados a un solo sistema de referencia geográfica.

Las redes geodésicas son toda operación que se realice, para complementar o densificar la red con el fin de dar apoyo terrestre directo, para restitución o para el control de bloques de Aero triangulación, deberá realizarse mediante operaciones cerradas (Topográficas, Geodésicas o Fotogramétricas) que permitan su ajuste por mínimos cuadrados. Los errores medios cuadráticos, resultantes, en planimetría y altimetría no superaran los 40 cms.

En Bolivia existe una amplia red geodésica, de los cuales muchos son densificaciones realizadas a partir de la red nacional realizada por el Instituto Geográfico Militar. (Kieffer, 1991).

Figura 2.26 Marco de Referencia Geodésico Nacional (MARGEN) de Bolivia



Fuente: Instituto Geográfico Militar

Las redes geodésicas son de mucha ayuda e indispensables para los trabajos geográficos como ser: planimetría, catastro, etc., esto con el fin de darle la precisión requerida e

indispensable en los trabajos. Se posiciona puntos de control en lugares estratégicos los cuales se ajustarán con equipos de precisión, para obtener la información geodésica acorde a las altas precisiones que proporcionan los equipos del sistema, información y exactitud posicional de las estaciones durante sus levantamientos geodésicos o topográficos con tecnología GPS/GNSS. (Kieffer, 1991).

2.34. Volúmenes

El cálculo del volumen de las tierras que se van a mover durante la construcción de carreteras implica comparar volumétricamente un mismo terreno en dos fases: primero, el terreno original y después, el terreno modificado tras una excavación o un relleno.

Antiguamente, el cálculo del volumen de movimiento de tierras se realizaba de forma manual pero ahora, gracias a las nuevas tecnologías, se realiza mediante modelos digitales procedentes siempre de planos topográficos que deben estar alzados con la máxima exactitud para conocer:

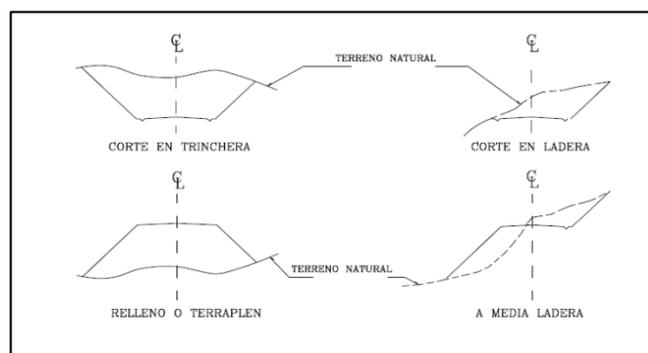
El desmonte o volumen de tierra extraída.

El terraplén o volumen de tierra aportada.

La diferencia entre ambos.

Para conocer el volumen de tierras que se va a mover en estos proyectos de ingeniería se pueden seguir diferentes métodos de cálculo que se clasifican en cálculos aproximados y cálculos exactos (teniendo en cuenta que siempre existirá un error relativo (R) generalmente despreciable en proyectos de esta envergadura). (Priego, 2015)

Figura 2.27 Volúmenes en secciones transversales

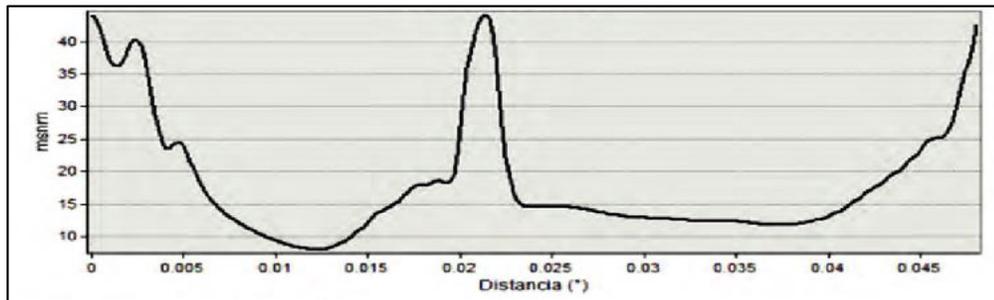


Fuente: www.wordpress.com

2.35. Perfiles

La finalidad de la nivelación de perfil es proporcionar la información necesaria para dibujar una gráfica de la elevación del terreno a lo largo de una línea o ruta propuesta. Un perfil es la sección gráfica de un plano vertical, siguiendo la ruta en cuestión, con la superficie terrestre. El perfil es absolutamente necesario para el trazo de pendientes de carreteras, canales, vías férreas, drenajes, etcétera. (Priego,2015)

Figura 2.28 Perfil topográfico



Fuente: www.researchgate.net

2.36. Secciones transversales

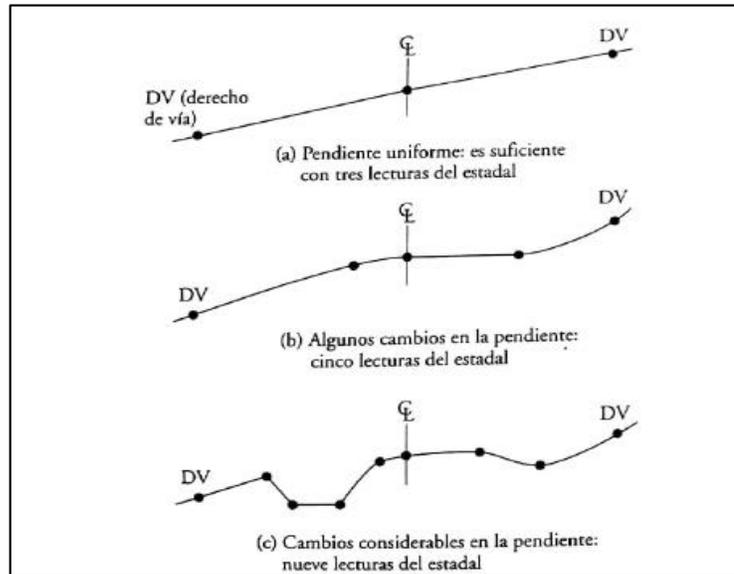
Los perfiles perpendiculares a los longitudinales se llaman transversales y se levantan a escala mayor que aquellos; estos perfiles tienen especial importancia en los estudios de caminos y canales.

Las secciones transversales son líneas de niveles o perfiles cortos que se realizan de forma perpendicular al eje del proyecto. Proporcionan la información necesaria para la estimación de los volúmenes de movimiento de tierras. Existen dos tipos generales de secciones transversales: para proyectos de vías terrestres como carreteras, y para bancos de material.

En el caso de vías terrestres las secciones transversales se definen a intervalos regulares, como encadenamientos, y cuando ocurran cambios abruptos en el perfil del eje del camino. Existe la costumbre entre los topógrafos de trazar muy pocas secciones, en particular en terrenos abruptos. Para que las secciones cumplan su propósito deben abarcar una distancia suficiente a cada lado del eje del camino, de forma que se incluya toda el

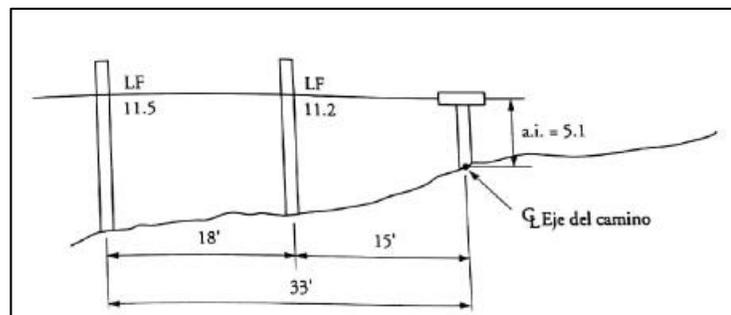
área afectada por el proyecto. Si se prevén grandes cortes o terraplenes, deben seccionarse mayores distancias desde el eje. (Priego,2015)

Figura 2.29 Puntos sugeridos para hacer lecturas



Fuente: Topografía Limusa Wiley

Figura 2.30 Figura trazo de la sección transversal



Fuente: Topografía Limusa Wiley

Las elevaciones necesarias se pueden encontrar utilizando un nivel común, un nivel de mano o una combinación de ambos. En ocasiones el nivel de mano se sujeta en la parte superior de un palo o tabla de 5 ft de alto, llamado zanco, para determinar las elevaciones necesarias. Estas se toman generalmente a intervalos regulares, a cada lado del eje, así como en puntos que presenten cambios significativos en la pendiente del terreno o en elementos característicos, como en el caso de arroyos, rocas, etcétera. A la altura de la línea de visual del telescopio sobre el terreno.

Si el desnivel demasiado grande para la altura del estadal, o si al subir la pendiente del terreno los desniveles son mayores que la a.i. del instrumento, entonces será necesario instalar uno o más puntos de liga PL para obtener todas las lecturas necesarias. (Priego,2015).

2.37. Volúmenes en movimiento de tierra

En la construcción de carreteras, vías férreas, canales, cimentaciones de grandes edificaciones, tuberías y otros proyectos se mueven grandes volúmenes de tierra.

El topógrafo a menudo se ve involucrado en la determinación de las cantidades o magnitudes de este movimiento de tierra. Su labor no sólo se centra en cantidades, sino también en la colocación de las estacas necesarias para llevar a cabo los movimientos de tierra que se requieren para dar al terreno las pendientes y elevaciones de proyecto.

Antes de iniciar un proyecto de construcción que requiere movimientos de tierra, el topógrafo debe determinar la configuración de la superficie del terreno. Esto tiene la finalidad de poder calcular el volumen de materiales que se debe retirar o agregar, según el proyecto.

Cuando se habla de movimientos de tierra, se acostumbra denominar cortes a las excavaciones y terraplenes a los rellenos. Las cantidades de volúmenes de corte y terraplén en los tipos de proyectos de construcción que se describen aquí con frecuencia son de tal magnitud que representan porcentajes apreciables del costo total del proyecto.

Los principios en los que se basa el cálculo de volúmenes son aplicables también a otros materiales, como en el caso de los volúmenes de embalses de presas, depósitos de arena, grava y otros materiales.

Los volúmenes de estructuras de mampostería se obtienen directamente a partir de las dimensiones en los planos, aunque es común, para fines de pago, calcular los volúmenes a partir de las mediciones de las estructuras terminadas que realiza el topógrafo directamente en campo. Debe hacerse notar que también es posible obtener con bastante precisión las cantidades de los movimientos de tierra, con base en planos elaborados mediante métodos fotogramétricos. También se usan planos topográficos realizados a partir de fotografías o modelos estereoscópicos. (Priego,2015).

2.38. Civil 3d en cálculo de volúmenes

Este software te permite disfrutar de flujos de trabajo más eficientes para el modelado de superficies, el modelado de obra lineal, el diseño de emplazamientos, el alcantarillado y saneamiento, y la producción y documentación de planos.

Figura 2.31 Topografía en civil 3D



Fuente: Civil 3D

Autodesk Civil 3D presenta tres métodos para calcular la volumetría asociada a las obras lineales.

La correcta selección entre un método u otro va a depender del nivel de exigencia que se requiere para obtener la cuantificación volumétrica y los condicionantes del área de estudio. A continuación, haremos un análisis de cada una de las metodologías mencionadas. (Graitec,2022).

Método Área Final Media

El método Área final media calcula los volúmenes de tierra asumiendo que el volumen de tierra entre dos PK forma un prisma de áreas diferentes, donde las áreas de las cara superior e inferior son las áreas proyectas por las secciones transversales de dos PK consecutivos. (Graitec,2022).

Fórmula del volumen de un prisma

$$V = \left(\frac{As + Ai}{2} \right) * h$$

Donde:

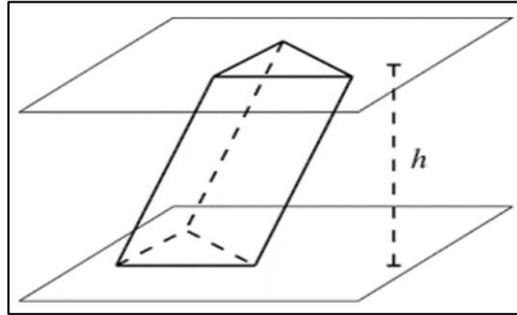
V=Volumen (m³)

As=Área Superior del Prisma (m²)

A=Área Inferior del Prisma (m²)

h=Altura del Prisma (m)

Figura 2.32 Volumen de un prisma



Fuente: www.graitec.com.bo

Método prismoidal

El método Prismoidal es similar al método de Área final media, pero utiliza una sección transversal adicional en el centro de los dos P.K. sucesivos.

Este método ya usa un concepto de cálculo de volumen de un sólido un poco “más generalizado”, donde se pueden usar más de dos secciones transversales (en este caso 3 secciones/áreas; las de los PK limitantes y un área ubicada en el centro entre ambos PK´s). (Graitec,2022).

Fórmula de volumen generalizada de prismas

$$V = \left(\sum \frac{i^N(A_i)}{n} \right) * h$$

Donde:

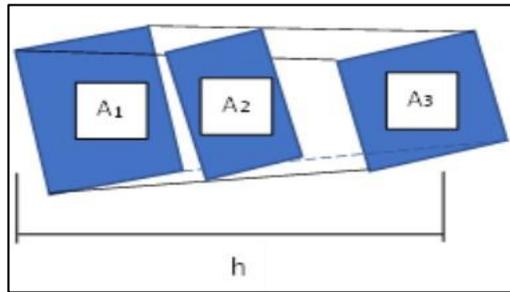
V=Volumen (m³)

A_i=Área de la sección transversal i del prisma (m²)

n=Cantidad de secciones transversales se contemplarán en el prisma

h=Altura del Prisma (m)

Figura 2.33 Volumen de prismas



Fuente: www.graitec.com.bo

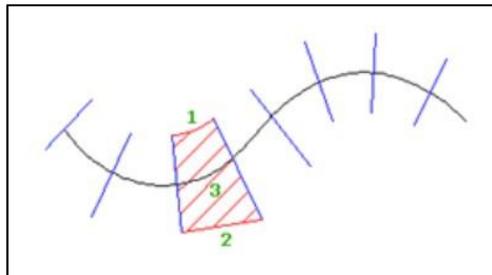
Método de volumen compuesto

El método compuesto es para listas de materiales que tienen sólo dos superficies y no se puede utilizar en las que contengan formas de obra lineal.

Para aplicar esta metodología el software crea polígonos entre las líneas de muestreo y calcula los volúmenes delimitados por estos polígonos.

Los polígonos se crean mediante la unión de los desfases de las líneas de muestreo entre dos P.K. sucesivos, tal como se muestra en la figura. (Graitec,2022).

Figura 2.34 Volumen compuesto



Fuente: www.graitec.com.bo

Si los desfases son uniformes, se utiliza una línea que coincide con la curvatura de la directriz en esa zona para unir las líneas de muestreo (1).

Si los desfases no son uniformes, se utiliza una línea recta para unir las líneas de muestreo (2).

Luego, se calcula el volumen compuesto del área situada dentro del polígono (3) para cada material de la lista de materiales del grupo de líneas de muestreo. (Graitec,2022).

CAPÍTULO III
APLICACIÓN PRÁCTICA
USANDO ESTACIÓN
TOTAL Y DRON

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA USANDO ESTACIÓN TOTAL Y DRON

Desarrollo del proyecto

El proyecto se realizó en varias etapas las cuales serán descritas a continuación:

3.1.Reconocimiento del lugar y planificación

En este recorrido se analizó de manera general el lugar del trabajo, todo con el objeto de programar ambos levantamientos.

Se hizo una visita a la zona, el día anterior al levantamiento topográfico y fue con la finalidad de planificar ambos trabajos, en el levantamiento con estación total, ubicar los puntos base para el mismo y en el levantamiento moderno, determinar los mejores lugares para los vuelos del dron y ubicar los puntos del control.

Figura 3.1 Reconocimiento del lugar



Fuente: Elaboración propia

3.2. Levantamiento Aero fotogramétrico método moderno (dron)

3.2.1. Reconocimiento y planificación

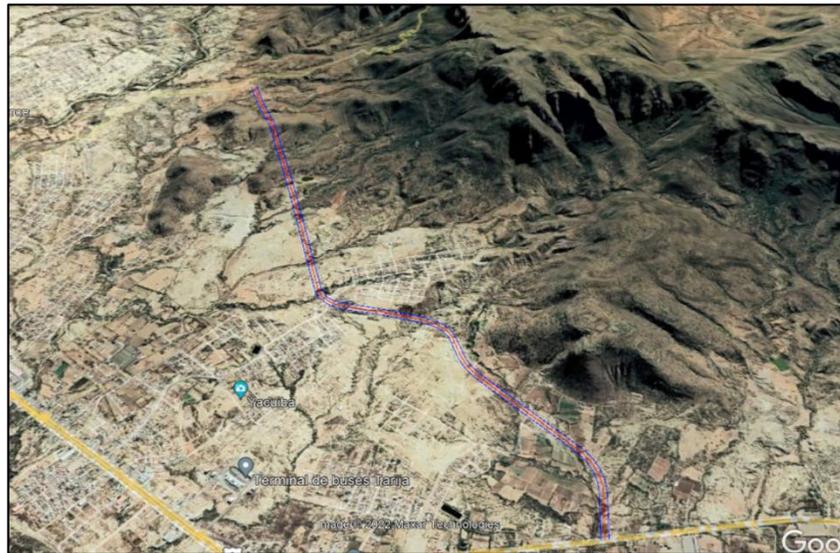
La ejecución de un proyecto fotogramétrico, requiere antes de comenzar, un planeamiento cuidadoso; Este consiste en determinar el área a levantar, cumpliendo con los parámetros requeridos, de su buena ejecución dependerá la comodidad, rapidez y precisión del resto de los trabajos.

En primer lugar, se hizo una visita a la zona de trabajo, el día anterior al inicio y fue con las siguientes finalidades; buscar el mejor lugar para poder iniciar los vuelos, ubicar los lugares donde se colocarán los puntos de control y determinar si existían interferencias (postes, arboles, antenas, etc) con el fin de realizar el vuelo lo más seguro posible.

Para todo lo anterior, como ayuda se usó el programa de google earth para saber hacia dónde dirigirnos al momento de realizar el reconocimiento.

Una vez realizado el reconocimiento, se procedió a la planificación general del trabajo, aquí se determinaron los parámetros básicos del mismo, como tiempo que llevara, horas adecuadas de vuelo, colocado de los puntos de control, etc.

Figura 3.2 Eje de la vía, vista de google earth



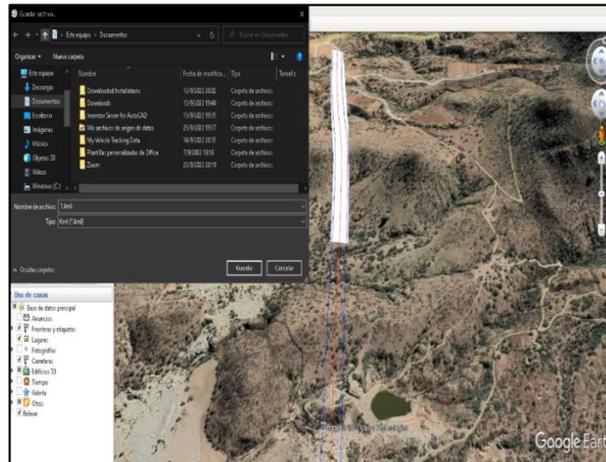
Fuente: Google earth

3.2.2. Plan de vuelos

Una vez concluido el reconocimiento y planificación, se procedió a realizar los planes de vuelo, todos esto de acuerdo a los siguientes pasos:

- En primer lugar, se determinó el eje de la vía, y se la cargo al google earth.

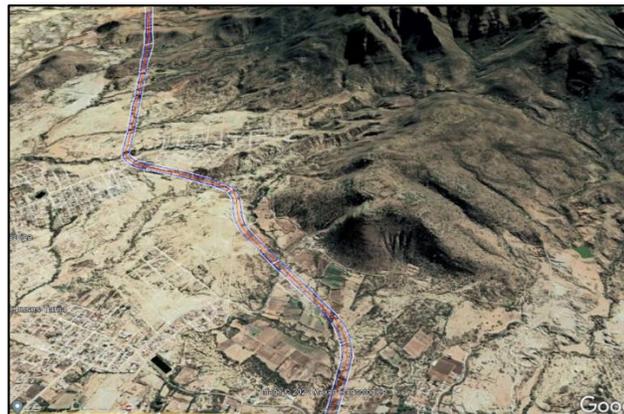
Figura 3.3 Eje de la vía en google earth



Fuente: Google earth

- En base al eje determinado, se crearon las poligonales del área a intervenir, estos archivos se guardaron en formato en kml.

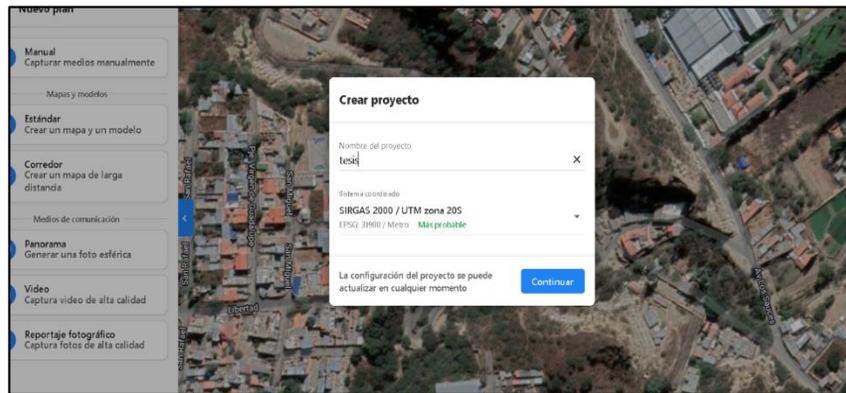
Figura 3.4 Poligonal para cada tramo



Fuente: Google earth

- Una vez determinada el área a intervenir, usando la aplicación Drone deploy, se creó el proyecto especificando el sistema de coordenadas WSG-84, proyección

Figura 3.5 Creación de proyecto



Fuente: Drone Deploy

- Posteriormente se procedió a importar el área a intervenir que se convirtió en el área de vuelo, y el programa se encargó de calcular de manera automática los parámetros del mismo

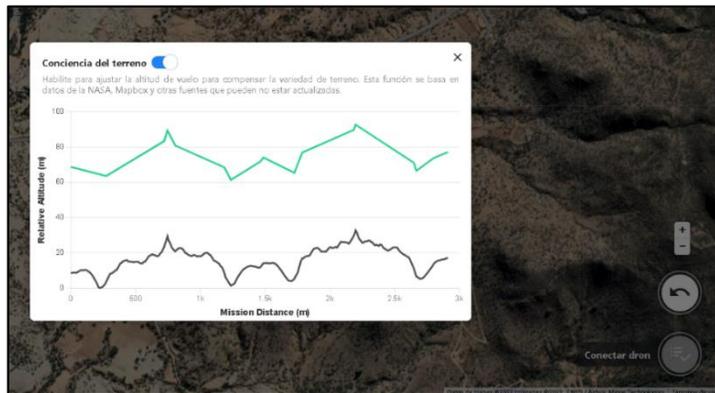
Figura 3.6 Plan de vuelo



Fuente: Drone Deploy

- Como se dijo anteriormente, el programa se encargó de determinar los parámetros del vuelo de manera automática, entre los cuales podemos citar, altura de vuelo, que en este caso fue de 60 metros, sobre posición frontal y lateral, dirección, velocidad, inclinación de la cámara, y por último se configuro para que el dron vuele con una altura fija respecto a la superficie existente.

Figura 3.7 Coincidencia con el terreno



Fuente: Drone Deploy

3.2.3. Puntos de control

Los puntos de control son puntos de referencia, que se colocan físicamente en el terreno, estos sirven para georreferenciar correctamente el modelo.

El procedimiento de la recolección de los puntos de control fue; pintar estos en el terreno para que puedan ser visualizados en las fotografías capturadas por el dron. A estos puntos se les asigno coordenadas leídas con un GNSS con corrección diferencial mediante el protocolo NTRIP, se pusieron los 3 puntos de control a distancias aproximadas de 250 metros, debido a que es la distancia más óptima.

- Para ubicar los puntos de control se usó como herramienta el civil 3d, en este software, se establecieron estos a distancias de 250 metros sobre el eje principal de la vía.

Figura 3.8 Puntos de control cada 250 m



Fuente: Civil 3D

- Este archivo fue cargado a la controladora del receptor GNSS, para ser replanteado en el lugar
- Por último, se realizó el pintado de los puntos y la lectura de cada uno de ellos con el receptor GNSS.

Tabla 3.1 Formato de puntos de control

Descripción	Este	Norte	Elevación
Point 1	320153,261	7624353,59	1979,774
Point 2	320132,937	7624317,44	1976,46
Point 3	320113,466	7624294,39	1969,147
Point 4	320338,174	7624232,4	1957,717

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Vuelo

Ya que el vuelo y la captura de fotografías lo hace el dron de manera automática, lo que corresponde aquí es comprobar que los componentes del equipo estén correctamente instalados para no tener ningún tipo de inconveniente. Para la preparación del equipo se realizaron las siguientes actividades:

Revisión del completo nivel de carga de la batería inteligente, el control y el dispositivo móvil.

- Colocación de hélices

Figura 3.9 Armado de dron



Fuente: Elaboración propia

- Instalación de la batería.

Figura 3.10 Batería



Fuente: Elaboración propia

- Retiro del protector de la cámara (el no retirarlo puede ocasionar que se dañe el motor (gimbal) que estabiliza y hace girar la cámara).

Figura 3.11 Retirado de protector



Fuente: Elaboración propia

- Colocación de la tarjeta de memoria donde se almacenan las fotografías.

Figura 3.12 Memoria de almacenaje



Fuente: Elaboración propia

- Preparación del control y conexión de la aplicación DRONE DEPLOY con la aeronave.

Figura 3.13 Configuraciones



Fuente: Elaboración propia

- Calibración del equipo.

Figura 3.14 Preparación para iniciar el vuelo



Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Proceso y exportación de datos

Para procesar los datos obtenidos con el dron (fotografías) se usó el programa agisoft photoScan:

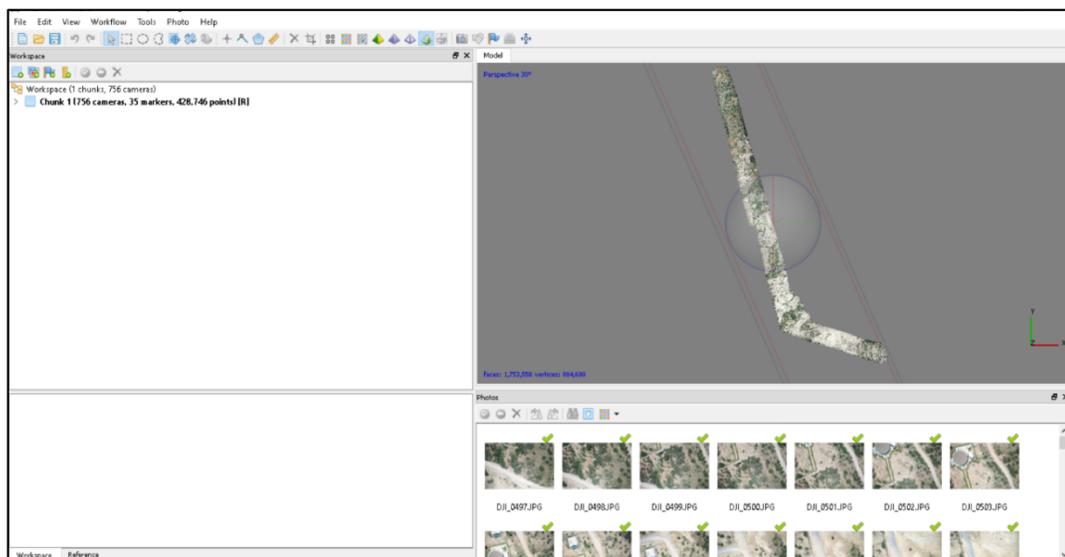
3.2.5.1. Agisoft PhotoScan

Es un tipo de software autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D.

- Usado en aplicaciones SIG, documentación de patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas.
- Técnica de fotogrametría digital aplicada de forma inteligente con métodos de visión por ordenador
- Este sistema de procesamiento automatizado inteligente puede ser manejado fácilmente por un novato en el campo de la fotogrametría y, por otro lado, tiene mucho que ofrecer a un especialista que puede ajustar el flujo de trabajo a numerosas tareas y diferentes tipos de datos

Agisoft de PhotoScan demuestra producir resultados de calidad y precisos.

Figura 3.15 Software utilizado

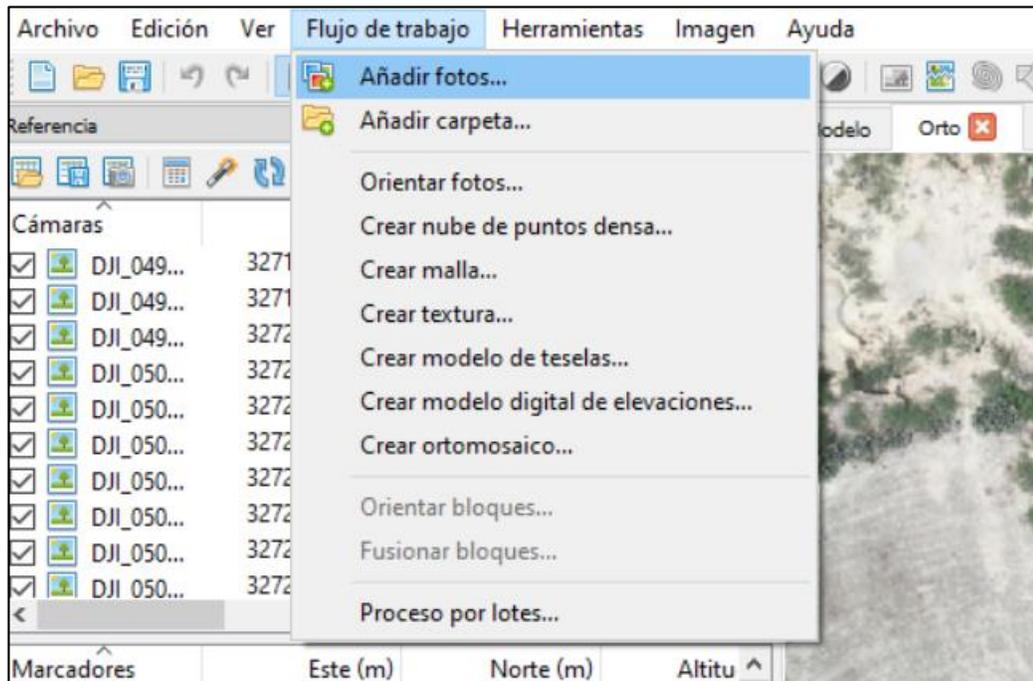


Fuente: Agisoft photoScan

3.2.5.2. Importación de las fotografías.

Fue el primer paso en el proceso del modelo es la importación de las fotografías capturadas en el campo, para esto nos dirigimos a; Flujo de trabajo añadir fotos.

Figura 3.16 Añadido de fotos



Fuente: Agisoft photoScan

Aquí se puede observar que por defecto las fotografías están en coordenadas geodésicas. Para convertir al sistema de coordenadas de trabajo se usó la herramienta convertir coordenadas y se llevó todo al sistema WGS-84, Proyección UTM, Zona 20S.

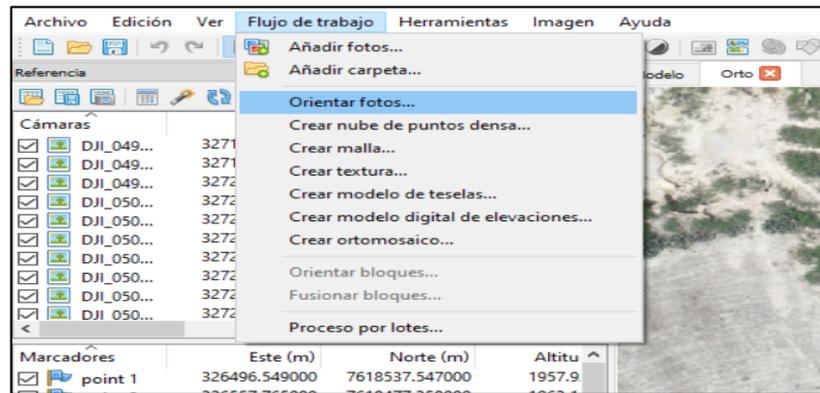
3.2.5.3. Orientación de la Fotos

La orientación o alineación de fotos, es el proceso en el que el software arma todo el vuelo fotogramétrico, para esto usa parámetros de orientación interior como; distancia focal, punto principal y distorsión. También se determinan parámetros de orientación exterior como la ubicación de la cámara en el momento de la captura.

Para este proceso se fue el menú Flujo de trabajo, Orientar fotos, los parámetros determinados fueron;

- Precisión: Alta
- Emparejamiento: referencia

Figura 3.17 Alineado de fotos



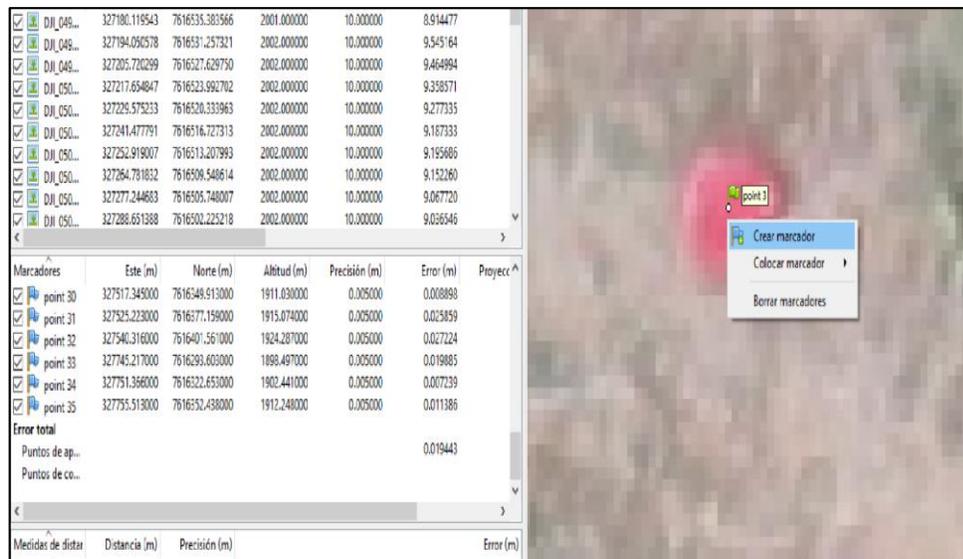
Fuente: Agisoft photoScan

3.2.5.4. Georreferenciación

Este es el proceso para asignar las coordenadas precisas a las fotografías que contienen los puntos de control, para esto se selecciona una de las fotografías que contiene el punto de control y se pone crear marcador, posterior a esto se filtran las fotos por marca y se corrigen una por una.

Este fue el paso más moroso de todo el proceso ya que se usaron más de 50 puntos de control en todo el modelo, para garantizar la precisión del mismo.

Figura 3.18 Georreferenciación



Fuente: Agisoft photoScan

3.2.5.5. Nube de puntos densa

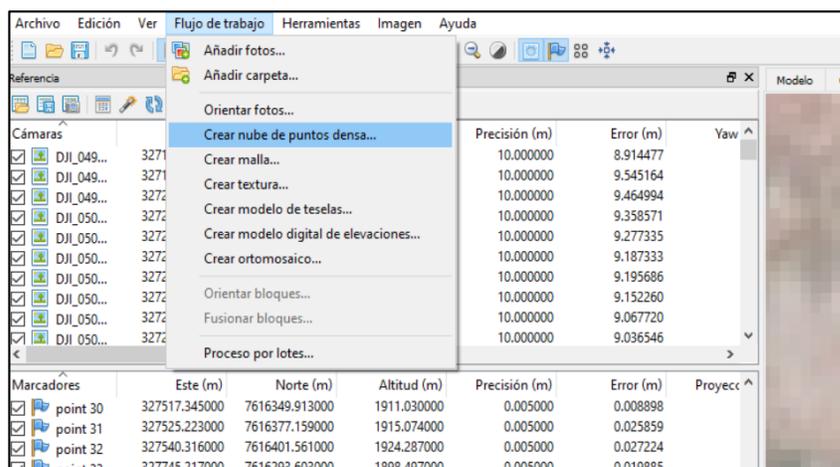
En este proceso el software crea los point clouds o nube de puntos densa con las fotografías orientadas y georreferenciadas.

A cada uno de los puntos de la nube el software le asigna, coordenadas, altura y características especiales como color.

Para esto nos fuimos a Flujo de trabajo_Crear nube de puntos densa. Los parametros utilizados fueron;

- Calidad: Alta
- Filtrado de profundidad: Agresiva

Figura 3.19 Creación de la nube de puntos densa



Fuente: Agisoft photoScan

Esta nube de puntos densa fue la que se utilizó para generar la superficie en el civil 3D.

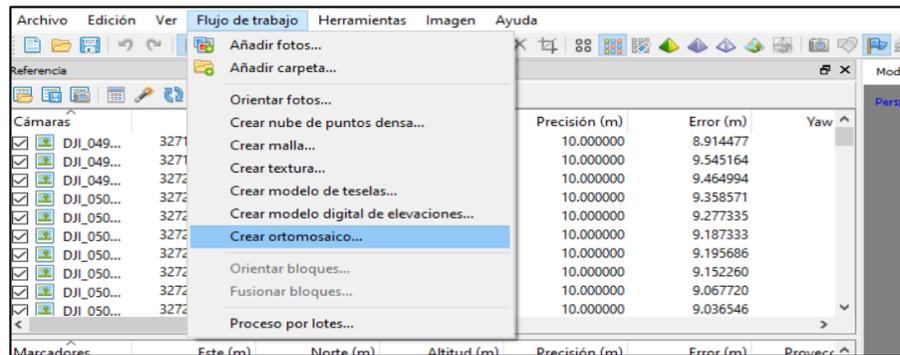
3.2.5.6. Ortomosaico

El Ortomosaico es una imagen Ortorectificada, es decir que la distorsión geométrica fue corregida y los colores balanceados.

Para la creación del ortomosaico nos fuimos a flujo de trabajo, crear ortomosaico. Los parámetros utilizados fueron:

- Superficie: Modelo digital de elevaciones
- Mezcla: Mosaico (por defecto)

Figura 3.20 Creación de la nube de puntos densa



Fuente: Agisoft photoScan

Si bien el Ortomosaico no se utilizó para ningún cálculo, ayudó en la identificación de varias características del lugar como ser, ríos, casas, cercos, etc.

3.3. Levantamiento topográfico método clásico

3.3.1. Reconocimiento y planificación

Para realizar un levantamiento con estación total, este paso es importante, ya que se determina la metodología de trabajo y con esto parámetros importantes como ser;

- Cantidad de personal.
- Materiales a utilizar.
- Tiempo de trabajo.

Aquí también se realizó el reconocimiento del lugar un día antes de realizar el trabajo, esto con la finalidad de conocer a fondo el lugar y poder planificar de una manera adecuada el mismo.

Figura 3.21 Reconocimiento del lugar



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Proceso de trabajo en campo con estación total

El proceso de trabajo con estación total se realizó de acuerdo a la siguiente logística; en primer lugar, se colocaron los puntos base, luego se realizó el levantamiento de detalles y por último se descargaron los datos.

3.3.3. Puntos Base

Al tratarse de un trabajo que solo compara volúmenes entre dos métodos y ambos trabajos están referidos al sistema WGS-84 (red Margen) y proyección UTM, los puntos base para el levantamiento con estación total, se establecieron con la ayuda de un receptor GNSS, conectado a una red NTRIP, cabe destacar que todo el trabajo está enlazado a la red geodésica municipal. Los puntos se colocaron cada Kilómetro, para así eliminar la necesidad de realizar poligonales bases.

Figura 3.22 Puntos base colocados cada kilómetro



Fuente: Elaboración propia

Cada uno de los puntos colocados tiene su referencia para poder estacionar y orientar el equipo, estos se detallan en el siguiente cuadro.

Tabla 3.2 Puntos base

Punto	Este	Norte	Elevación	Descripción
1	328932,871	7614528,559	1861,421	PB-1
2	328917,994	7614640,253	1859,724	R-1
3	328597,125	7615410,181	1882,944	PB-02
4	328510,736	7615414,225	1886,843	R-2
5	328001,815	7616204,638	1914,710	PB-03
6	327903,465	7616257,978	1904,952	R-3
7	327155,350	7616511,790	1927,057	PB-04
8	327054,969	7616644,014	1911,028	R-4
9	326793,774	7617522,910	1926,338	PB-05
10	326751,015	7617557,339	1928,657	R-5
11	326550,851	7618445,996	1959,190	PB-06
12	326510,025	7618510,970	1963,366	R-6
13	326215,879	7619354,156	1961,501	PB-07
14	326193,117	7619408,641	1962,571	R-7

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.23 Colocación de estaca



Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Levantamiento de detalles

Este trabajo se realizó con el fin de tomar todos los datos planialtimétricos necesarios para generar el modelo digital del terreno de la topografía clásica, la metodología utilizada fue por secciones transversales tomadas cada 20 metros, tratando de detallar el

terreno de la mejor manera posible, el levantamiento de detalles se realizó de acuerdo a los siguientes pasos.

- **Montaje y ajuste de la estación total**

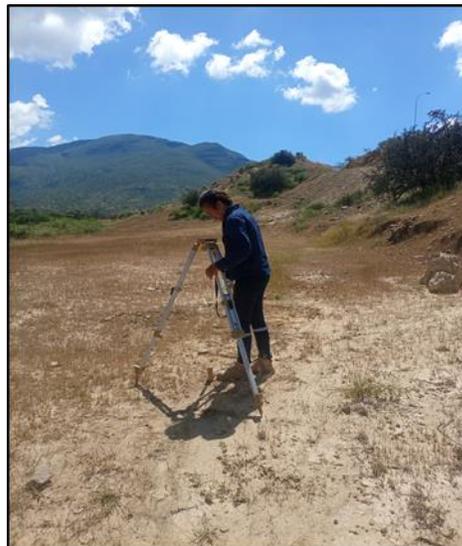
Se realizó el montaje tratando de cuidar la estabilidad del equipo, cabe destacar que siempre un correcto montaje facilitará el trabajo a realizar.

Se realizó el montaje del trípode con las patas plegadas apoyándolo de pie sobre el punto.

Luego se soltaron los seguros para que las patas se extiendan y levanto desde la base superior hasta aproximadamente el nivel de la barbilla del operario. Por último, se cerraron los seguros para fijar la longitud de las patas.

En todo este proceso, siempre se tuvo en cuenta que la plomada coincida con el punto base

Figura 3.24 Montaje de trípode



Fuente: Elaboración propia

- **Nivelación de la estación total**

Una vez realizados los pasos anteriores, se procedió a la nivelación del aparato. con dos maneras diferentes:

En la primera se ajustó las alturas de las patas y con la segunda se movieron los tornillos consiguiendo así movimientos finos tratando de llevar el nivel hacia el centro

Una vez hecho esto, se giró 90 grados para cotejar la nivelación en el aparato.

Figura 3.25 Estación total nivelada



Fuente: Elaboración propia

- **Selección y configuración del archivo de trabajo**

Una vez encendido el equipo, se procedió a crear un nuevo trabajo, posteriormente se al cargado de las coordenadas del punto base correspondiente y por último se orientó el equipo con la referencia de este.

- **Toma de datos**

Una vez establecidos los parámetros anteriores, procedimos a realizar la toma de datos para del levantamiento topográfico, para esto se utilizaron bastones y prismas cargados por un alarife.

Cada uno de los puntos leídos, fueron almacenados en la memoria del equipo con datos de coordenadas, altura, fecha, hora, etc.

Cuando ya no se tenía visibilidad, se procedió a un cambio de estación, previa lectura del punto auxiliar, y se estaciono el equipo en esto, orientándose con el punto anterior.

Este procedimiento lo repetiremos las veces necesarias hasta llegar al próximo Punto Base.

Figura 3.26 Obtención de datos



Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Proceso y exportación de datos

La descarga de datos de la estación total, se realizó de manera directa mediante una memoria USB, en formato txt, compatible con el software el que se generara la superficie.

Tabla 3.3 Ejemplo de los datos obtenidos en el campo

Norte	Este	Altitud
7619373.1	326217.92	1961.97
7619377.16	326228.45	1959.63
7619381.91	326243.5	1958.96
7619371.16	326211.28	1962.44
7619368.56	326202.77	1961.98
7619352.33	326225.25	1958.6
7619362.61	326245.45	1951.44
7619360.77	326235.71	1954.6

Fuente: Elaboración propia

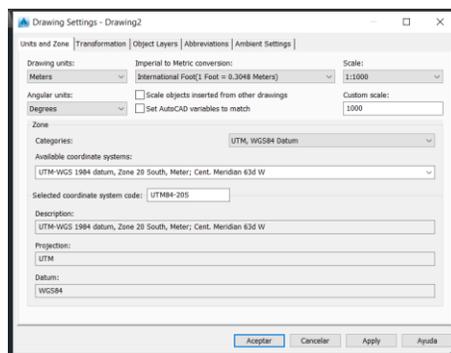
3.3.6. Procesamiento de datos y resultados

Una vez procesados y exportados los datos del levantamiento aerofotogrametrico y descargados los datos obtenidos en campo con la estacion total, se procedio al cargado y procesado de los mismos en el civil 3d, todo esto se describe en los siguientes pasos:

3.3.7. Importación de datos y obtención del modelo digital del terreno

En primer lugar se configuro el sistema de coordenadas en el civil 3d, para esto se fue aparametros, editar parametros de dibujo, comose dijo anteriormente, se trabajo con el sistema WGS-84, Proyeccion UTM, Zona 20S

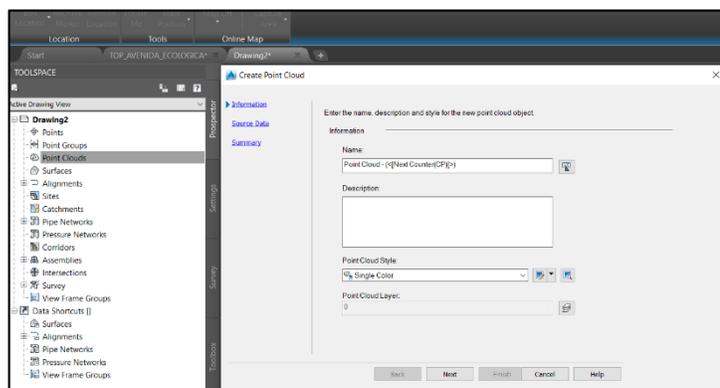
Figura 3.27 Configuración del sistema de proyección



Fuente: Civil 3d.

La nube de puntos densa(points clouds) se cargo en el civil 3d con el comando point clouds_create point clouds.

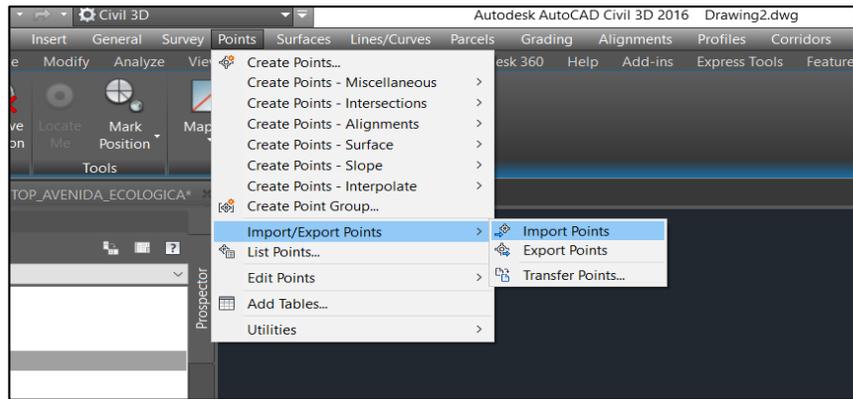
Figura 3.28 Cargado de la nube de puntos densa



Fuente: Civil 3d

Los puntos COGO generados con la estación total se cargaron con el comando points_import points, aquí se busca el formato en el que se encuentran los puntos, se crea un grupo y se procede al cargado correspondiente.

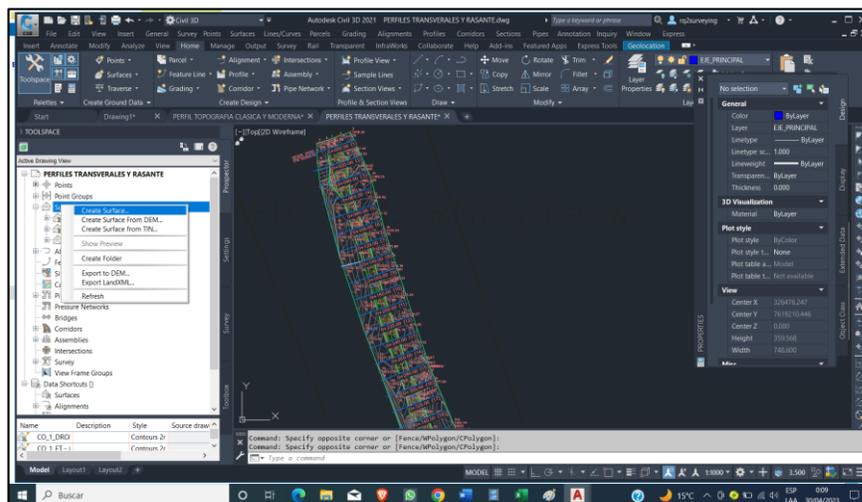
Figura 3.29 Cargado de la nube de puntos densa.



Fuente: Civil 3d

Una vez cargados los datos, se procedio a la generacion de cada una de las superficies, usando el comando surface_create surface.

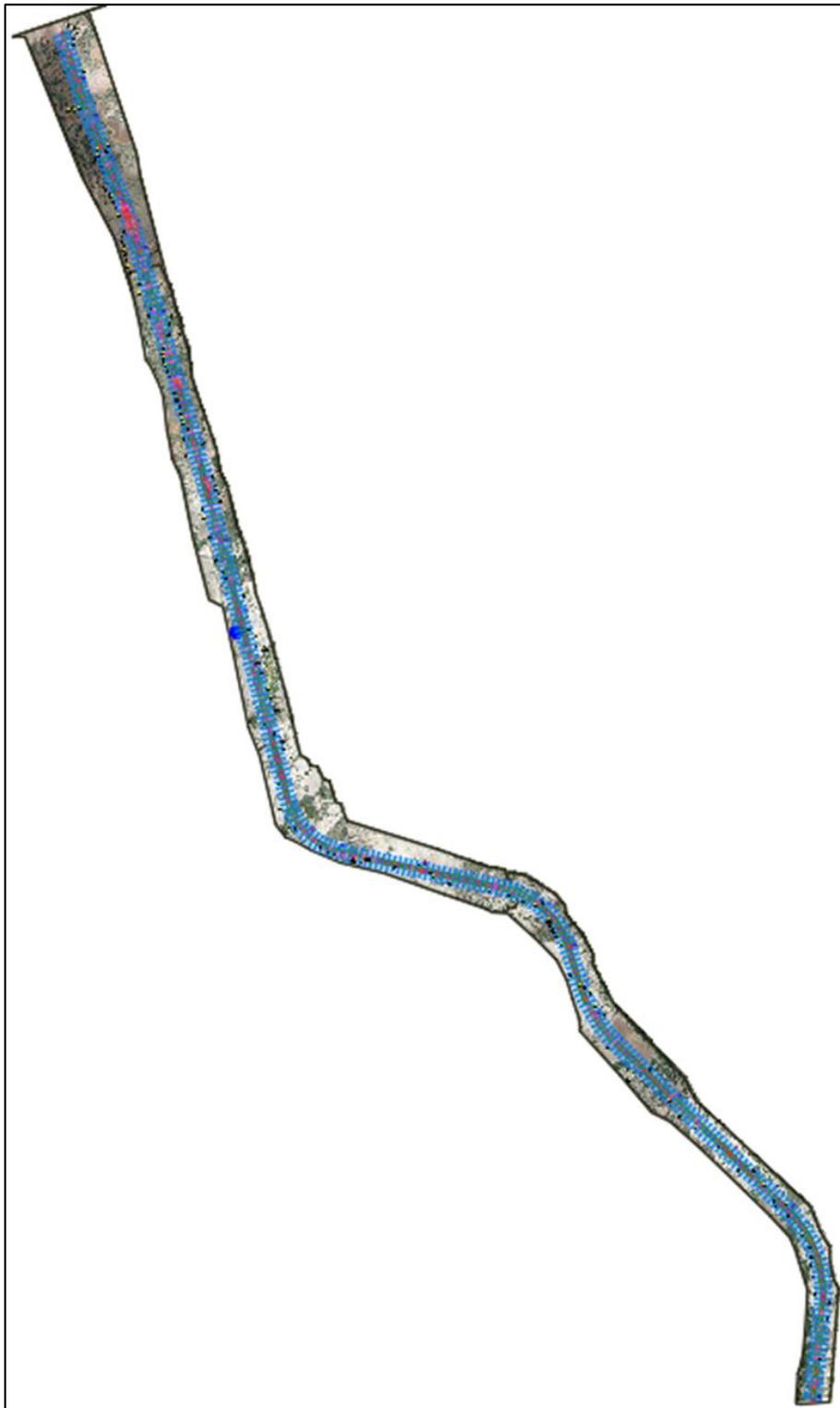
Figura 3.30 Creación de las superficies



Fuente: Civil 3d

Para generar la superficie denominada topografía clásica se usaron los puntos COGO leídos con la estación total y de la topografía moderna la nube de puntos densa point clouds.

Figura 3.31 Modelo digital del terreno

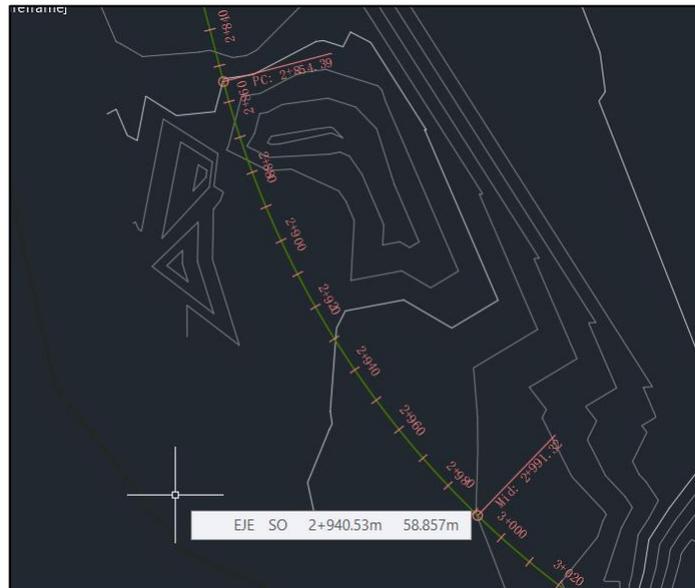


Fuente: Civil 3D

3.3.8. Diseño en planta

En el diseño en planta se respetó el eje original, mismo que se dio para iniciar los trabajos de levantamientos tanto fotogramétricos como taquimétricos, no se hará mucho énfasis en esto ya que el objeto del presente proyecto es la comparación de volúmenes, se hace notar que; se utilizó el mismo diseño para calcular estos con las dos superficies generadas.

Figura 3.32 Diseño en planta



Fuente: Civil 3d

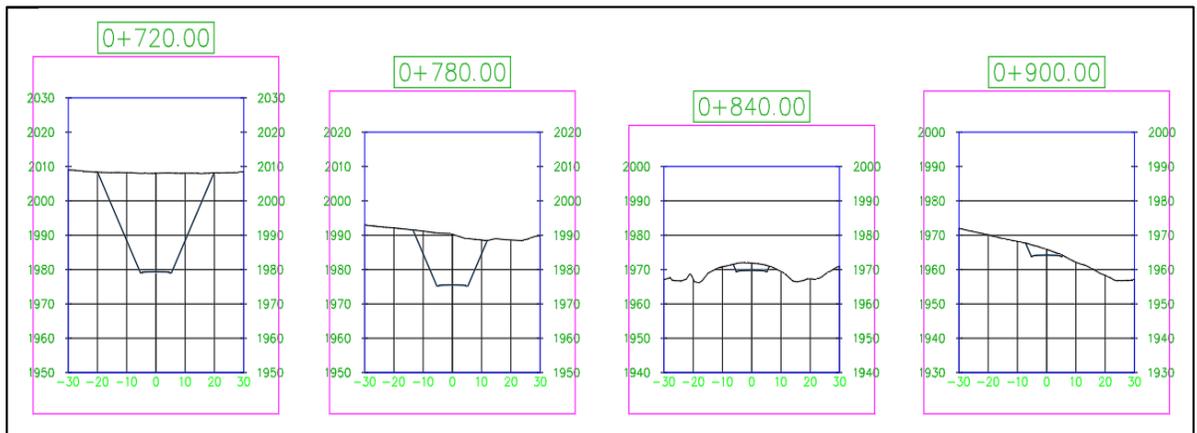
3.3.9. Secciones transversales y cálculo de volúmenes

Por último, se generaron las secciones transversales y se realizó el cálculo de volúmenes, como en los dos anteriores pasos se utilizó la misma sección típica para ambos modelos

- Perfiles transversales del dron

A continuación, se puede visualizar algunas de las secciones transversales con sus respectivas progresivas en anexos se podrá visualizar todas las secciones cada 20m.

Figura 3.33 Secciones transversales dron.

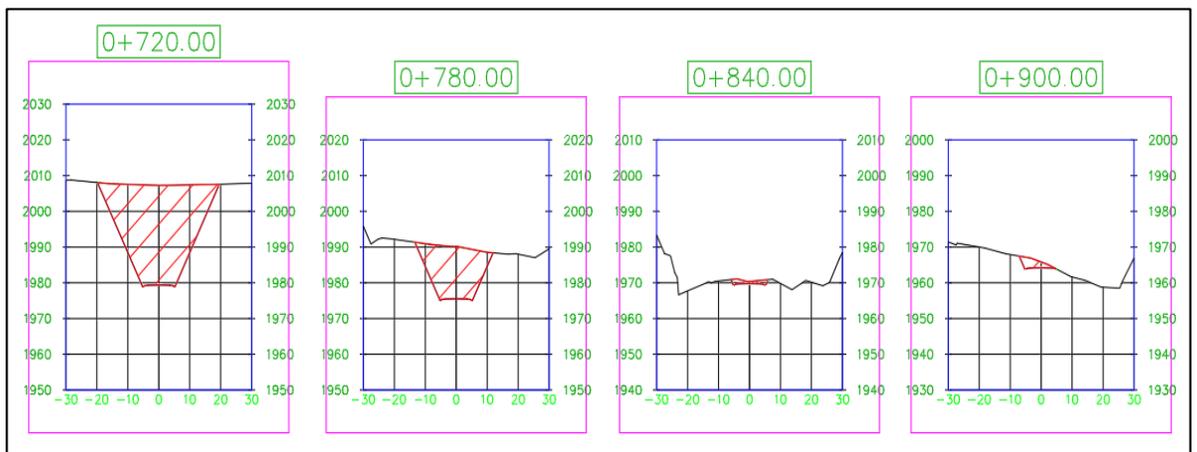


Fuente: Civil 3D

- Perfiles transversales de la estación total

A continuación, se observa los perfiles transversales obtenidos del levantamiento topográfico con estación total procesados con civil 3D de las mismas progresivas mostradas anteriormente del dron.

Figura 3.34 Secciones transversales estación total.



Fuente: Civil 3D

3.4. Resultados obtenidos.

3.4.1. Áreas y volúmenes de corte y relleno de dron y estación total.

Tabla 3.4 Valores de áreas y volúmenes.

PK	Dron.				Estación total.			
	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)
0+000	10,97	0,00	0,00	0,00	4,69	0,00	0,00	2,76
0+020	0,00	109,71	109,71	144,88	0,00	46,85	46,85	137,71
0+040	0,00	0,00	0,00	70,64	0,00	0,00	0,00	89,33
0+060	0,32	3,23	3,23	8,52	0,00	0,00	0,00	14,62
0+080	8,58	89,07	89,07	3,62	7,57	75,73	75,73	2,10
0+100	27,81	363,94	363,94	0,00	27,28	348,52	348,52	0,00
0+120	45,60	734,09	734,09	0,00	36,12	633,97	633,97	0,00
0+140	31,29	768,91	768,91	0,00	26,88	629,96	629,96	0,00
0+160	19,32	506,07	506,07	0,00	17,33	442,07	442,07	0,00
0+180	21,24	405,59	405,59	0,00	22,53	398,54	398,54	0,00
0+200	38,65	598,93	598,93	0,00	39,00	615,26	615,26	0,00
0+220	67,26	1059,05	1059,05	0,00	66,08	1050,83	1050,83	0,00
0+240	78,13	1453,84	1453,84	0,00	67,05	1331,34	1331,34	0,00
0+260	45,07	1231,98	1231,98	0,00	29,15	962,01	962,01	0,00
0+280	12,94	580,12	580,12	0,64	5,01	341,57	341,57	3,39
0+300	0,00	129,42	129,42	62,94	0,00	50,08	50,08	56,29
0+320	0,00	0,00	0,00	87,89	0,00	0,00	0,00	78,68
0+340	33,19	331,87	331,87	9,77	30,28	302,84	302,84	0,00
0+360	46,17	793,61	793,61	0,00	37,96	682,42	682,42	0,00
0+380	48,17	943,48	943,48	0,00	57,35	953,04	953,04	0,00
0+400	108,17	1563,41	1563,41	0,00	107,00	1643,48	1643,48	0,00
0+420	126,96	2351,24	2351,24	0,00	121,00	2280,05	2280,05	0,00
0+440	75,59	2025,47	2025,47	0,00	60,99	1819,93	1819,93	0,00
0+460	0,00	755,89	755,89	35,69	0,00	609,90	609,90	37,95
0+480	0,00	0,00	0,00	56,74	0,00	0,00	0,00	67,86
0+500	61,82	618,18	618,18	0,00	55,84	558,40	558,40	0,00
0+520	114,01	1758,30	1758,30	0,00	112,70	1685,38	1685,38	0,00
0+540	154,14	2681,53	2681,53	0,00	137,02	2497,14	2497,14	0,00
0+560	53,54	2076,78	2076,78	0,00	92,22	2292,33	2292,33	0,00
0+580	82,68	1362,20	1362,20	0,00	67,66	1598,73	1598,73	0,00
0+600	64,94	1476,26	1476,26	0,00	62,19	1298,50	1298,50	0,00
0+620	119,63	1845,69	1845,69	0,00	121,54	1837,31	1837,31	0,00
0+640	269,14	3887,65	3887,65	0,00	282,97	4045,08	4045,08	0,00
0+660	474,59	7437,32	7437,32	0,00	452,44	7354,12	7354,12	0,00
0+680	611,12	10857,12	10857,12	0,00	604,60	10570,38	10570,38	0,00
0+700	705,85	13169,68	13169,68	0,00	698,06	13026,55	13026,55	0,00
0+720	727,97	14338,17	14338,17	0,00	702,98	14010,42	14010,42	0,00
0+740	607,54	13355,04	13355,04	0,00	599,64	13026,27	13026,27	0,00
0+760	430,97	10385,11	10385,11	0,00	432,18	10318,20	10318,20	0,00
0+780	263,92	6948,98	6948,98	0,00	262,05	6942,27	6942,27	0,00
0+800	147,18	4110,99	4110,99	0,00	142,96	4050,07	4050,07	0,00
0+820	79,62	2267,93	2267,93	0,00	68,67	2116,31	2116,31	0,00
0+840	23,90	1035,15	1035,15	0,00	11,43	801,06	801,06	0,00

PK	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)
0+860	0,00	238,98	238,98	73,75	0,00	114,31	114,31	81,87
0+880	0,00	0,00	0,00	28,78	0,00	0,00	0,00	45,68
0+900	21,40	214,04	214,04	0,00	20,17	201,65	201,65	0,01
0+920	43,69	650,95	650,95	0,00	32,99	531,50	531,50	0,00
0+940	10,96	546,53	546,53	0,00	11,40	443,90	443,90	0,00
0+960	0,00	109,62	109,62	19,48	0,00	114,05	114,05	36,26
0+980	0,00	0,00	0,00	61,44	0,00	0,00	0,00	56,88
1+000	0,00	0,00	0,00	67,91	0,00	0,00	0,00	70,71
1+020	0,00	0,00	0,00	128,55	0,00	0,00	0,00	110,89
1+040	0,00	0,00	0,00	175,89	0,00	0,00	0,00	121,39
1+060	0,00	0,00	0,00	91,20	0,00	0,00	0,00	97,86
1+080	0,00	0,00	0,00	136,34	0,00	0,00	0,00	151,03
1+100	0,00	0,00	0,00	190,12	0,00	0,00	0,00	228,68
1+120	0,00	0,00	0,00	204,44	0,00	0,00	0,00	197,15
1+140	0,00	0,00	0,00	128,61	0,00	0,00	0,00	134,51
1+160	0,00	0,00	0,00	93,72	0,00	0,00	0,00	129,42
1+180	0,00	0,00	0,00	278,65	0,00	0,00	0,00	271,11
1+200	0,00	0,00	0,00	253,55	0,00	0,00	0,00	246,03
1+220	0,00	0,00	0,00	45,75	0,00	0,00	0,00	47,72
1+240	35,71	357,06	357,06	0,00	31,82	318,21	318,21	0,00
1+260	112,12	1478,22	1478,22	0,00	112,01	1438,28	1438,28	0,00
1+280	204,39	3165,08	3165,08	0,00	205,35	3173,58	3173,58	0,00
1+300	307,42	5118,16	5118,16	0,00	310,49	5158,39	5158,39	0,00
1+320	325,99	6334,17	6334,17	0,00	319,53	6300,21	6300,21	0,00
1+340	249,65	5756,41	5756,41	0,00	250,56	5700,96	5700,96	0,00
1+360	179,58	4292,34	4292,34	0,00	181,31	4318,75	4318,75	0,00
1+380	121,25	3008,31	3008,31	0,00	124,54	3058,48	3058,48	0,00
1+400	79,78	2010,30	2010,30	0,00	79,81	2043,43	2043,43	0,00
1+420	35,41	1151,95	1151,95	0,00	25,62	1054,24	1054,24	0,00
1+440	0,00	354,11	354,11	31,02	0,00	256,18	256,18	27,34
1+460	0,00	0,00	0,00	34,23	0,00	0,00	0,00	35,26
1+480	0,00	0,00	0,00	22,80	0,00	0,00	0,00	21,34
1+500	24,82	248,18	248,18	0,00	32,59	325,87	325,87	0,00
1+520	128,83	1536,47	1536,47	0,00	121,29	1538,82	1538,82	0,00
1+540	46,36	1751,91	1751,91	0,00	40,32	1616,12	1616,12	0,00
1+560	0,00	463,62	463,62	40,97	0,00	403,18	403,18	19,50
1+580	0,00	0,00	0,00	24,62	0,00	0,00	0,00	24,34
1+600	5,25	52,48	52,48	3,14	11,00	110,02	110,02	0,23
1+620	76,22	814,72	814,72	0,00	59,77	707,71	707,71	0,00
1+640	121,95	1981,69	1981,69	0,00	135,69	1954,57	1954,57	0,00
1+660	226,86	3488,09	3488,09	0,00	232,55	3682,35	3682,35	0,00
1+680	326,06	5529,20	5529,20	0,00	330,61	5631,62	5631,62	0,00
1+700	300,88	6269,41	6269,41	0,00	293,29	6239,01	6239,01	0,00
1+720	180,63	4815,09	4815,09	0,00	193,62	4869,03	4869,03	0,00
1+740	91,99	2726,11	2726,11	0,00	84,66	2782,78	2782,78	0,00
1+760	19,49	1114,75	1114,75	0,00	14,46	991,25	991,25	0,00
1+780	0,00	194,89	194,89	5,47	0,00	144,63	144,63	4,89
1+800	0,00	0,00	0,00	8,82	0,00	0,00	0,00	11,63
1+820	0,00	0,00	0,00	26,26	0,00	0,00	0,00	40,70
1+840	0,00	0,00	0,00	38,40	0,00	0,00	0,00	24,27

PK	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)
1+860	34,11	341,14	341,14	0,00	19,36	193,58	193,58	0,00
1+880	28,13	622,45	622,45	0,00	28,02	473,75	473,75	0,00
1+900	0,91	290,37	290,37	1,84	0,00	280,17	280,17	8,45
1+920	0,00	9,06	9,06	64,03	0,00	0,00	0,00	52,55
1+940	0,00	0,00	0,00	96,87	0,00	0,00	0,00	93,34
1+960	0,00	0,00	0,00	128,37	0,00	0,00	0,00	115,88
1+980	0,00	0,00	0,00	138,06	0,00	0,00	0,00	115,43
2+000	0,00	0,00	0,00	86,63	0,00	0,00	0,00	96,39
2+020	0,00	0,00	0,00	25,99	0,00	0,00	0,00	28,57
2+040	9,81	98,13	98,13	0,00	7,05	70,50	70,50	0,00
2+060	47,22	570,29	570,29	0,00	36,42	434,73	434,73	0,00
2+080	58,12	1053,40	1053,40	0,00	56,79	932,09	932,09	0,00
2+100	72,42	1305,44	1305,44	0,00	77,68	1344,67	1344,67	0,00
2+120	80,09	1525,09	1525,09	0,00	87,12	1648,01	1648,01	0,00
2+140	77,82	1579,10	1579,10	0,00	85,78	1728,96	1728,96	0,00
2+160	100,27	1780,88	1780,88	0,00	103,21	1889,90	1889,90	0,00
2+180	137,93	2381,92	2381,92	0,00	118,88	2220,99	2220,99	0,00
2+200	113,45	2513,78	2513,78	0,00	125,00	2438,81	2438,81	0,00
2+220	116,34	2297,95	2297,95	0,00	114,23	2392,24	2392,24	0,00
2+240	48,02	1643,63	1643,63	0,00	67,13	1813,57	1813,57	0,00
2+260	44,48	924,99	924,99	0,00	34,47	1016,02	1016,02	0,00
2+280	14,41	588,83	588,83	0,00	10,29	447,58	447,58	0,00
2+300	0,00	144,05	144,05	28,68	0,00	102,87	102,87	92,04
2+320	0,00	0,00	0,00	177,82	0,00	0,00	0,00	116,09
2+340	0,00	0,00	0,00	52,08	0,00	0,00	0,00	117,89
2+360	0,00	0,00	0,00	46,27	0,00	0,00	0,00	69,26
2+380	0,00	0,00	0,00	42,04	0,00	0,00	0,00	63,13
2+400	0,00	0,00	0,00	65,11	0,00	0,00	0,00	73,17
2+420	0,00	0,00	0,00	88,87	0,00	0,00	0,00	96,18
2+440	0,00	0,00	0,00	103,74	0,00	0,00	0,00	83,62
2+460	0,00	0,00	0,00	49,36	0,00	0,00	0,00	50,76
2+480	0,00	0,00	0,00	14,35	0,00	0,00	0,00	14,39
2+500	0,58	5,82	5,82	8,53	0,00	0,00	0,00	34,02
2+520	0,00	5,82	5,82	112,46	0,00	0,00	0,00	138,67
2+540	0,00	0,00	0,00	95,66	0,00	0,00	0,00	109,58
2+560	0,00	0,00	0,00	37,46	0,00	0,00	0,00	39,86
2+580	5,13	51,29	51,29	8,88	0,00	0,00	0,00	18,95
2+600	0,00	51,29	51,29	7,61	7,82	78,21	78,21	0,00
2+620	54,44	544,36	544,36	0,00	43,57	513,95	513,95	0,00
2+640	91,86	1462,94	1462,94	0,00	89,62	1331,97	1331,97	0,00
2+660	149,35	2412,07	2412,07	0,00	141,79	2314,15	2314,15	0,00
2+680	196,80	3461,52	3461,52	0,00	189,65	3314,38	3314,38	0,00
2+700	216,34	4131,40	4131,40	0,00	217,87	4075,12	4075,12	0,00
2+720	232,69	4490,27	4490,27	0,00	227,65	4455,19	4455,19	0,00
2+740	232,94	4656,29	4656,29	0,00	229,07	4567,26	4567,26	0,00
2+760	210,47	4434,14	4434,14	0,00	209,08	4381,52	4381,52	0,00
2+780	174,10	3845,79	3845,79	0,00	160,44	3695,21	3695,21	0,00
2+800	93,70	2678,00	2678,00	0,00	98,62	2590,65	2590,65	0,00
2+820	67,14	1608,38	1608,38	0,00	64,73	1633,52	1633,52	0,00
2+840	37,49	1046,34	1046,34	0,00	37,11	1018,38	1018,38	0,00

PK	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)
2+860	0,00	374,81	374,81	3,04	0,38	374,83	374,83	12,51
2+880	0,00	0,00	0,00	39,47	0,00	3,87	3,87	28,29
2+900	0,00	0,00	0,00	16,31	0,00	0,00	0,00	20,82
2+920	0,00	0,00	0,00	19,25	0,00	0,00	0,00	22,29
2+940	0,00	0,00	0,00	17,09	0,00	0,00	0,00	17,18
2+960	0,00	0,00	0,00	15,35	0,00	0,00	0,00	15,03
2+980	0,00	0,00	0,00	13,82	0,00	0,00	0,00	13,86
3+000	0,00	0,00	0,00	12,46	0,00	0,00	0,00	13,20
3+020	0,00	0,00	0,00	11,68	0,36	3,55	3,55	2,74
3+040	4,40	43,39	43,39	0,73	18,72	188,04	188,04	0,57
3+060	24,65	289,00	289,00	0,00	26,51	448,29	448,29	0,00
3+080	20,63	449,13	449,13	1,01	8,84	350,83	350,83	5,20
3+100	0,00	203,52	203,52	50,12	0,00	87,03	87,03	52,17
3+120	0,00	0,00	0,00	104,89	0,00	0,00	0,00	100,35
3+140	0,00	0,00	0,00	153,77	0,00	0,00	0,00	162,37
3+160	0,00	0,00	0,00	316,84	0,00	0,00	0,00	198,77
3+180	0,00	0,00	0,00	122,92	0,00	0,00	0,00	124,52
3+200	1,00	10,00	10,00	48,38	0,00	0,00	0,00	57,05
3+220	7,06	80,56	80,56	35,12	1,41	14,11	14,11	29,93
3+240	15,25	223,08	223,08	25,42	6,67	80,76	80,76	22,43
3+260	20,19	354,38	354,38	9,81	21,65	283,17	283,17	1,43
3+280	28,69	488,72	488,72	10,47	29,54	511,91	511,91	0,00
3+300	30,89	595,76	595,76	2,57	36,13	656,69	656,69	0,00
3+320	34,77	656,60	656,60	2,60	38,73	748,64	748,64	0,00
3+340	46,88	816,46	816,46	0,00	37,72	764,57	764,57	0,00
3+360	14,90	617,77	617,77	7,23	24,68	624,09	624,09	0,00
3+380	20,56	354,57	354,57	5,95	19,22	439,03	439,03	4,81
3+400	3,23	237,85	237,85	3,31	19,04	382,60	382,60	2,23
3+420	15,61	188,39	188,39	0,00	24,23	432,69	432,69	0,00
3+440	38,35	539,59	539,59	0,00	37,23	614,61	614,61	0,00
3+460	61,51	998,57	998,57	0,00	38,41	756,47	756,47	0,00
3+480	19,59	810,95	810,95	0,00	25,61	640,18	640,18	0,00
3+500	24,38	439,64	439,64	0,00	25,75	513,55	513,55	0,00
3+520	39,80	641,76	641,76	0,00	41,63	673,83	673,83	0,00
3+540	55,47	952,70	952,70	0,00	64,60	1062,29	1062,29	0,00
3+560	42,07	975,39	975,39	0,00	87,79	1523,84	1523,84	0,00
3+580	98,01	1400,82	1400,82	0,00	94,36	1821,52	1821,52	0,00
3+600	89,59	1875,98	1875,98	0,00	91,32	1856,86	1856,86	0,00
3+620	79,58	1691,64	1691,64	0,00	83,82	1751,43	1751,43	0,00
3+640	68,97	1485,52	1485,52	0,00	71,08	1549,01	1549,01	0,00
3+660	56,30	1252,74	1252,74	0,00	53,33	1244,06	1244,06	0,00
3+680	23,55	798,49	798,49	0,00	32,74	860,71	860,71	0,00
3+700	18,41	419,53	419,53	0,00	0,00	327,45	327,45	3,45
3+720	0,00	184,05	184,05	21,07	0,00	0,00	0,00	34,68
3+740	0,00	0,00	0,00	54,27	0,00	0,00	0,00	31,56
3+760	0,00	0,00	0,00	263,44	0,00	0,00	0,00	86,97
3+780	0,00	0,00	0,00	23,89	0,00	0,00	0,00	61,18
3+800	1,08	11,00	11,00	60,75	0,00	0,00	0,00	54,89
3+820	1,12	22,23	22,23	48,03	0,00	0,00	0,00	76,35
3+840	13,64	145,92	145,92	42,58	0,00	0,00	0,00	25,82

PK	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)
3+860	52,88	664,83	664,83	0,00	39,01	389,25	389,25	0,00
3+880	67,29	1203,86	1203,86	0,00	67,67	1067,22	1067,22	0,00
3+900	56,18	1236,12	1236,12	0,00	58,30	1261,64	1261,64	0,00
3+920	43,86	1001,46	1001,46	0,00	46,87	1053,01	1053,01	0,00
3+940	38,52	824,71	824,71	0,00	38,86	858,66	858,66	0,00
3+960	50,34	887,60	887,60	0,00	73,43	1123,65	1123,65	0,00
3+980	121,47	1719,12	1719,12	0,00	150,80	2241,20	2241,20	0,00
4+000	189,21	3107,44	3107,44	0,00	180,82	3314,08	3314,08	0,00
4+020	143,42	3322,10	3322,10	0,00	138,13	3185,66	3185,66	0,00
4+040	93,42	2365,13	2365,13	0,00	96,36	2340,64	2340,64	0,00
4+060	59,53	1528,70	1528,70	0,00	61,04	1573,00	1573,00	0,00
4+080	39,92	994,43	994,43	0,00	51,72	1127,59	1127,59	0,00
4+100	69,50	1094,21	1094,21	0,00	73,31	1250,36	1250,36	0,00
4+120	108,64	1781,46	1781,46	0,00	100,90	1742,13	1742,13	0,00
4+140	119,91	2285,55	2285,55	0,00	110,92	2118,19	2118,19	0,00
4+160	113,51	2334,20	2334,20	0,00	105,66	2165,84	2165,84	0,00
4+180	95,31	2088,13	2088,13	0,00	87,14	1928,08	1928,08	0,00
4+200	57,94	1536,90	1536,90	0,00	57,78	1453,03	1453,03	0,00
4+220	32,71	909,18	909,18	0,00	35,32	933,05	933,05	0,00
4+240	8,38	412,10	412,10	0,00	9,00	444,46	444,46	0,00
4+260	0,44	88,68	88,68	19,01	0,28	93,21	93,21	8,56
4+280	0,00	4,43	4,43	11,29	0,00	2,78	2,78	11,71
4+300	0,00	0,00	0,00	9,41	0,00	0,00	0,00	9,14
4+320	0,00	0,00	0,00	22,59	0,00	0,00	0,00	20,15
4+340	0,00	0,00	0,00	26,28	0,00	0,00	0,00	27,03
4+360	0,00	0,00	0,00	22,81	0,00	0,00	0,00	24,56
4+380	0,00	0,00	0,00	22,18	0,00	0,00	0,00	20,90
4+400	0,00	0,00	0,00	14,16	0,00	0,00	0,00	13,76
4+420	0,00	0,00	0,00	5,98	0,00	0,00	0,00	5,45
4+440	1,60	16,01	16,01	0,00	1,55	15,45	15,45	0,00
4+460	8,37	99,77	99,77	0,00	8,00	95,48	95,48	0,00
4+480	10,60	189,79	189,79	0,00	11,53	195,33	195,33	0,00
4+500	11,36	219,61	219,61	0,00	11,10	226,32	226,32	0,00
4+520	11,98	233,38	233,38	0,00	11,49	225,88	225,88	0,00
4+540	10,40	223,83	223,83	0,00	10,77	222,55	222,55	0,00
4+560	3,14	135,43	135,43	3,85	5,76	165,27	165,27	0,44
4+580	9,48	126,23	126,23	0,00	6,25	120,10	120,10	0,00
4+600	7,92	174,03	174,03	0,00	7,41	136,55	136,55	0,00
4+620	6,71	146,29	146,29	0,00	5,84	132,42	132,42	0,00
4+640	4,80	115,09	115,09	0,00	4,15	99,86	99,86	0,00
4+660	4,01	88,12	88,12	0,00	3,48	76,31	76,31	0,00
4+680	2,71	67,18	67,18	0,00	2,80	62,80	62,80	0,00
4+700	1,03	37,39	37,39	0,07	1,40	42,03	42,03	0,00
4+720	0,68	17,15	17,15	0,75	0,00	14,05	14,05	16,84
4+740	0,00	6,82	6,82	34,22	0,00	0,00	0,00	28,55
4+760	0,00	0,00	0,00	82,90	0,00	0,00	0,00	55,29
4+780	0,00	0,00	0,00	75,79	0,00	0,00	0,00	98,10
4+800	0,00	0,00	0,00	64,99	0,00	0,00	0,00	56,68
4+820	0,44	4,42	4,42	34,12	0,00	0,00	0,00	20,46
4+840	19,97	204,11	204,11	0,00	0,29	2,90	2,90	4,86

PK	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)
4+860	24,79	447,59	447,59	0,00	14,15	144,44	144,44	0,00
4+880	26,33	511,15	511,15	0,00	26,20	403,53	403,53	0,00
4+900	25,81	521,38	521,38	0,00	26,79	529,83	529,83	0,00
4+920	31,70	575,11	575,11	0,00	30,52	573,09	573,09	0,00
4+940	32,85	645,47	645,47	0,00	32,40	629,21	629,21	0,00
4+960	34,09	669,34	669,34	0,00	34,65	670,43	670,43	0,00
4+980	37,33	714,18	714,18	0,00	35,68	703,23	703,23	0,00
5+000	38,05	753,87	753,87	0,00	37,59	732,63	732,63	0,00
5+020	40,79	788,47	788,47	0,00	38,94	765,21	765,21	0,00
5+040	39,41	802,01	802,01	0,00	34,94	738,76	738,76	0,00
5+060	28,44	678,46	678,46	0,00	28,44	633,76	633,76	0,00
5+080	24,03	524,70	524,70	0,00	22,53	509,70	509,70	0,00
5+100	20,92	449,49	449,49	0,00	15,09	376,24	376,24	0,00
5+120	6,28	272,00	272,00	0,20	0,34	154,28	154,28	7,49
5+140	3,70	99,85	99,85	16,52	0,00	3,37	3,37	32,59
5+160	0,00	37,03	37,03	9,40	0,00	0,00	0,00	15,64
5+180	0,00	0,00	0,00	51,82	0,00	0,00	0,00	26,33
5+200	0,00	0,00	0,00	29,79	0,00	0,00	0,00	42,58
5+220	0,00	0,00	0,00	14,27	0,50	4,96	4,96	10,85
5+240	13,28	132,82	132,82	0,00	17,76	182,60	182,60	0,00
5+260	29,25	425,31	425,31	0,51	6,46	242,23	242,23	0,00
5+280	6,04	352,87	352,87	0,00	7,97	144,32	144,32	0,00
5+300	31,79	378,38	378,38	0,00	4,65	126,34	126,34	0,63
5+320	30,79	625,81	625,81	0,00	12,36	170,94	170,94	0,00
5+340	34,95	657,49	657,49	0,00	33,18	455,91	455,91	0,00
5+360	25,78	607,36	607,36	0,00	26,68	598,75	598,75	0,00
5+380	21,78	475,83	475,83	0,00	22,06	487,62	487,62	0,00
5+400	14,49	363,31	363,31	0,00	14,58	366,68	366,68	0,00
5+420	4,21	187,43	187,43	0,00	2,86	174,64	174,64	0,00
5+440	24,99	293,24	293,24	0,00	6,88	97,68	97,68	0,00
5+460	26,99	521,40	521,40	0,00	9,81	167,47	167,47	0,00
5+480	42,02	691,17	691,17	0,00	19,65	295,55	295,55	0,00
5+500	34,30	763,79	763,79	0,00	26,88	465,89	465,89	0,00
5+520	22,03	563,66	563,66	0,00	20,44	474,01	474,01	0,00
5+540	45,06	671,20	671,20	0,00	52,58	732,19	732,19	0,00
5+560	60,03	1051,04	1051,04	0,00	65,24	1179,87	1179,87	0,00
5+580	69,69	1297,88	1297,88	0,00	61,63	1269,53	1269,53	0,00
5+600	36,43	1061,70	1061,70	0,00	52,24	1139,64	1139,64	0,00
5+620	23,83	602,64	602,64	0,00	23,62	759,49	759,49	0,00
5+640	9,77	337,15	337,15	0,55	15,90	396,02	396,02	0,00
5+660	14,01	238,95	238,95	0,00	23,07	390,72	390,72	0,00
5+680	7,35	213,66	213,66	0,07	6,22	292,92	292,92	0,00
5+700	0,00	73,53	73,53	45,78	0,00	62,19	62,19	13,84
5+720	0,00	0,00	0,00	32,44	0,00	0,00	0,00	30,84
5+740	0,00	0,00	0,00	57,20	0,00	0,00	0,00	68,28
5+760	0,00	0,00	0,00	108,33	0,00	0,00	0,00	117,89
5+780	0,00	0,00	0,00	96,74	0,00	0,00	0,00	88,37
5+800	0,00	0,00	0,00	67,40	0,00	0,00	0,00	60,30
5+820	0,00	0,00	0,00	83,21	0,00	0,00	0,00	36,40
5+840	0,00	0,00	0,00	15,67	0,00	0,00	0,00	15,96

PK	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)	Área de Corte (m ²)	Vol. de corte (m ³)	Área de relleno (m ²)	Vol. de relleno (m ³)
5+860	8,25	82,46	82,46	0,00	2,36	23,59	23,59	0,00
5+880	6,08	143,26	143,26	0,00	7,36	97,20	97,20	0,00
5+900	1,64	77,16	77,16	1,75	5,15	125,11	125,11	0,00
5+920	0,34	19,77	19,77	5,49	0,28	54,26	54,26	5,70
5+940	5,23	55,68	55,68	0,00	0,00	2,76	2,76	5,41
5+960	15,20	204,24	204,24	0,00	14,19	141,94	141,94	0,00
5+980	7,66	228,58	228,58	0,00	9,29	234,82	234,82	0,00
5+996,705	1,59	77,27	77,27	0,27	3,78	109,19	109,19	0,00

Fuente: Elaboración propia

3.5. Relación de variables

La relación entre variables se mide mediante el coeficiente de correlación, Estos números varían entre límites de +1 y -1.

Tabla 3.5 Relación de variables según el coeficiente de correlación

Rango	Rango	Relación
+ 0,96	+ 1,00	Perfecta
+ 0,85	+ 0,95	Fuerte
+ 0,70	+ 0,84	Significativa
+ 0,50	+ 0,69	Moderada
+ 0,20	+ 0,49	Débil
+ 0,10	+ 0,19	Muy débil
0	0	Nula
- 0,10	- 0,19	Muy débil
- 0,20	- 0,49	Débil
- 0,50	- 0,69	Moderada
- 0,70	- 0,84	Significativa
- 0,85	- 0,95	Fuerte
- 0,96	- 1,00	Perfecta

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de correlación actúa como indicativo si existe relación entre dos variables, Esto nos facilita entender si las variables están relacionadas o no.

Cuando el coeficiente de correlación es mayor a cero ($r > 0$), se dice que hay correlación positiva, Las variables se correlacionan en un sentido directo.

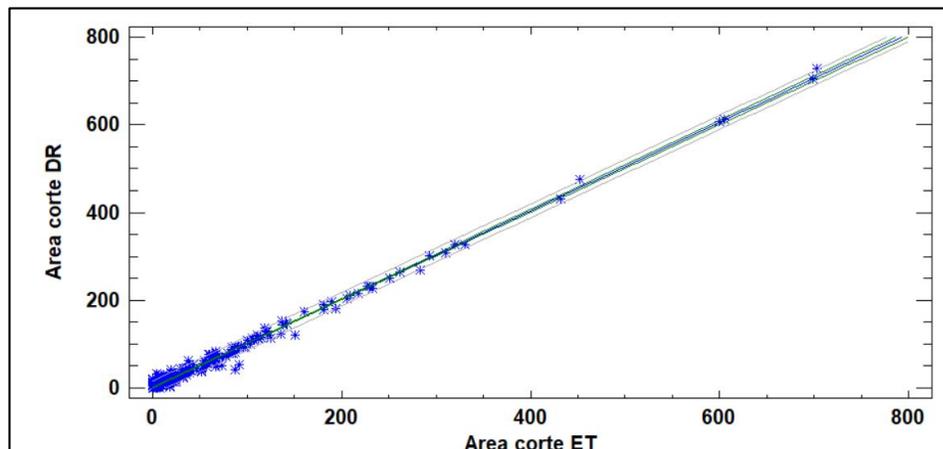
Si el coeficiente de correlación es igual a 1 o -1 se habla de una correlación perfecta, existe una relación perfecta entre ambas variables.

Cuando el coeficiente de correlación es menor a cero ($r < 0$), se dice que hay correlación negativa, Las variables se correlacionan en un sentido inverso.

3.5.1. Relación de áreas de corte.

$$\text{Area corte Dron} = 0,742823 + 1,00783 * \text{Area corte E. T.}$$

Figura 3.35 Relación de áreas de corte dron vs estación total



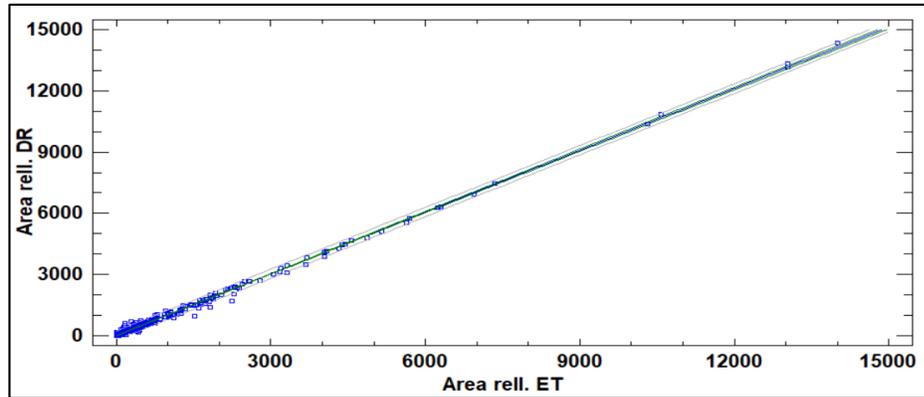
Fuente: Statgraphics

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,3974% de la variabilidad en Área corte del Dron. El coeficiente de correlación es igual a 0,996982, indicando una relación perfecta entre las variables.

3.5.2. Relación de áreas de relleno,

$$\text{Area relleno Dron} = 14,9971 + 1,0076 * \text{Area rell. E. T}$$

Figura 3.36 Relación de áreas de relleno dron vs estación total



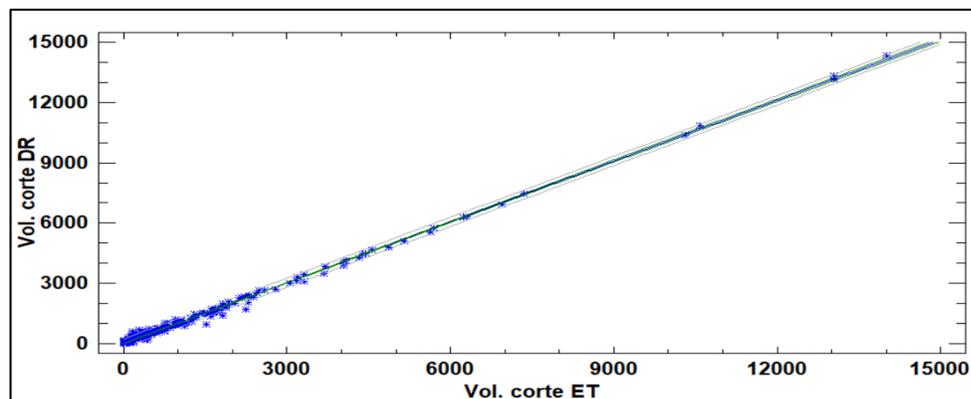
Fuente: Statgraphics

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,6766% de la variabilidad en Área rell. Dron. El coeficiente de correlación es igual a 0,998382. indicando una relación perfecta entre las variables.

Relación de volúmenes de corte

$$\text{Vol. corte Dron} = 14,9971 + 1,0076 * \text{Vol. corte E. T.}$$

Figura 3.37 Relación de volúmenes de corte.



Fuente: Statgraphics

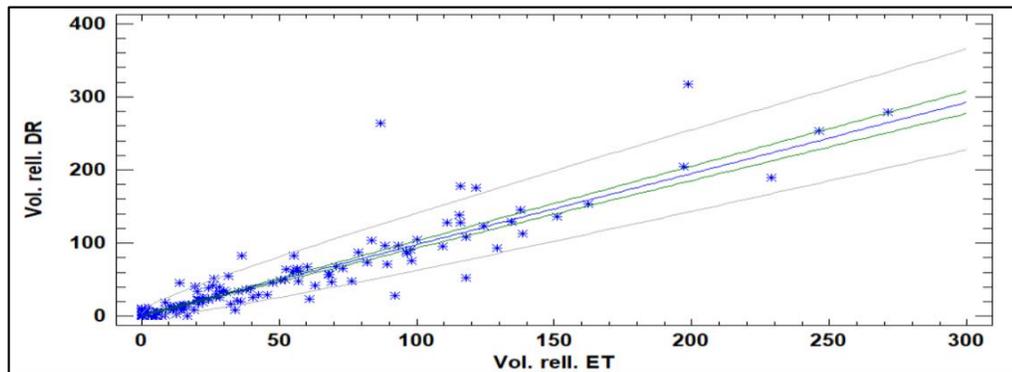
La regresión de puntos se ajusta a un modelo lineal.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,6766% de la variabilidad en Vol. corte DR. El coeficiente de correlación es igual a 0,998382, indicando una relación perfecta entre las variables.

3.5.3. Relación de volúmenes de relleno

$$\text{Vol. rell. Dron} = (0,0677075 + 0,983476 * \sqrt{(\text{Vol. rell. E. T.})})^2$$

Figura 3.38 Relación de volúmenes de relleno



Fuente: Statgraphics

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 88,2176% de la variabilidad en Vol. rell. Dron. El coeficiente de correlación es igual a 0,939242, indicando una relación fuerte entre las variables.

3.5.4. Resumen de la relación de variables

Tabla 3.6 Relación de variables

Variabes	Mejor de modelo de ajuste	Coef. De correlación	R2	Relación
Áreas corte (Dron vs E.T.)	Lineal	0,9993	99,87%	Perfecta
Áreas relleno (Dron vs E.T.)	Lineal	0,9997	99,95%	Perfecta
Vol. Corte (Dron vs E.T.)	Lineal	0,9983	99,68%	Perfecta
Vol. Relleno (Dron vs E.T.)	Raíz Cuadrada Doble	0,9392	88,23%	Fuerte

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7 Relación de variables según el coeficiente de correlación

Rango	Rango	Relación
+ 0,96	+ 1,00	Perfecta
+ 0,85	+ 0,95	Fuerte
+ 0,70	+ 0,84	Significativa
+ 0,50	+ 0,69	Moderada
+ 0,20	+ 0,49	Débil
+ 0,10	+ 0,19	Muy débil
0	0	Nula
- 0,10	- 0,19	Muy débil
- 0,20	- 0,49	Débil
- 0,50	- 0,69	Moderada
- 0,70	- 0,84	Significativa
- 0,85	- 0,95	Fuerte
- 0,96	- 1,00	Perfecta

Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Comparación de cálculo de volúmenes

El porcentaje de variación se utiliza para describir la relación entre el valor del volumen obtenido mediante el dron y el obtenido a partir de la estación total.

De manera específica, el porcentaje de variación representa la diferencia de ambos en términos de porcentaje de los valores obtenidos del dron.

Variación del volumen de corte

$$\% \text{ De Variacion} = \frac{\text{Volumen de corte dron} - \text{Volumen de corte ET}}{\text{volumen de corte ET}} * 100$$

Variación del volumen relleno

$$\% \text{ De Variacion} = \frac{\text{Volumen de relleno dron} - \text{Volumen de relleno ET}}{\text{volumen de relleno ET}} * 100$$

En la tabla 3.6 muestra los resultados obtenidos del volumen de corte y relleno, obtenidos mediante el dron y la estación total, indicándonos el porcentaje de variación que existe entre los volúmenes de corte y relleno.

Tabla 3.8 Porcentajes de variación

PK	Dron	E.T	% De variación	Dron	E.T	% De variación
	Vol. Corte(m ³)	Vol. corte(m ³)		Vol. Relleno(m ³)	Vol. Relleno(m ³)	
0+000	0,00	0,00	0,00	0,00	2,76	100,00
0+020	109,71	46,85	57,30	144,88	137,71	5,21
0+040	0,00	0,00	0,00	70,64	89,33	20,92
0+060	3,23	0,00	100,00	8,52	14,62	41,72
0+080	89,07	75,73	14,98	3,62	2,10	72,38
0+100	363,94	348,52	4,24	0,00	0,00	0,00
0+120	734,09	633,97	13,64	0,00	0,00	0,00
0+140	768,91	629,96	18,07	0,00	0,00	0,00
0+160	506,07	442,07	12,65	0,00	0,00	0,00
0+180	405,59	398,54	1,74	0,00	0,00	0,00
0+200	598,93	615,26	2,73	0,00	0,00	0,00
0+220	1059,05	1050,83	0,78	0,00	0,00	0,00
0+240	1453,84	1331,34	8,43	0,00	0,00	0,00
0+260	1231,98	962,01	21,91	0,00	0,00	0,00
0+280	580,12	341,57	41,12	0,64	3,39	81,12
0+300	129,42	50,08	61,30	62,94	56,29	11,81
0+320	0,00	0,00	0,00	87,89	78,68	11,71
0+340	331,87	302,84	8,75	9,77	0,00	0,00
0+360	793,61	682,42	14,01	0,00	0,00	0,00
0+380	943,48	953,04	1,01	0,00	0,00	0,00
0+400	1563,41	1643,48	5,12	0,00	0,00	0,00
0+420	2351,24	2280,05	3,03	0,00	0,00	0,00
0+440	2025,47	1819,93	10,15	0,00	0,00	0,00
0+460	755,89	609,90	19,31	35,69	37,95	5,96
0+480	0,00	0,00	0,00	56,74	67,86	16,39
0+500	618,18	558,40	9,67	0,00	0,00	0,00
0+520	1758,30	1685,38	4,15	0,00	0,00	0,00
0+540	2681,53	2497,14	6,88	0,00	0,00	0,00
0+560	2076,78	2292,33	10,38	0,00	0,00	0,00
0+580	1362,20	1598,73	17,36	0,00	0,00	0,00
0+600	1476,26	1298,50	12,04	0,00	0,00	0,00
0+620	1845,69	1837,31	0,45	0,00	0,00	0,00
0+640	3887,65	4045,08	4,05	0,00	0,00	0,00
0+660	7437,32	7354,12	1,12	0,00	0,00	0,00
0+680	10857,12	10570,38	2,64	0,00	0,00	0,00
0+700	13169,68	13026,55	1,09	0,00	0,00	0,00
0+720	14338,17	14010,42	2,29	0,00	0,00	0,00

	Dron	E.T		Dron	E.T	
PK	Vol. Corte(m³)	Vol. Corte(m³)	% De variación	Vol. Relleno(m³)	Vol. Relleno(m³)	% De variación
0+780	6948,98	6942,27	0,10	0,00	0,00	0,00
0+800	4110,99	4050,07	1,48	0,00	0,00	0,00
0+820	2267,93	2116,31	6,69	0,00	0,00	0,00
0+840	1035,15	801,06	22,61	0,00	0,00	0,00
0+860	238,98	114,31	52,17	73,75	81,87	9,92
0+880	0,00	0,00	0,00	28,78	45,68	37,00
0+900	214,04	201,65	5,79	0,00	0,01	100,00
0+920	650,95	531,50	18,35	0,00	0,00	0,00
0+940	546,53	443,90	18,78	0,00	0,00	0,00
0+960	109,62	114,05	4,04	19,48	36,26	46,28
0+980	0,00	0,00	0,00	61,44	56,88	8,02
1+000	0,00	0,00	0,00	67,91	70,71	3,96
1+020	0,00	0,00	0,00	128,55	110,89	15,93
1+040	0,00	0,00	0,00	175,89	121,39	44,90
1+060	0,00	0,00	0,00	91,20	97,86	6,81
1+080	0,00	0,00	0,00	136,34	151,03	9,73
1+100	0,00	0,00	0,00	190,12	228,68	16,86
1+120	0,00	0,00	0,00	204,44	197,15	3,70
1+140	0,00	0,00	0,00	128,61	134,51	4,39
1+160	0,00	0,00	0,00	93,72	129,42	27,58
1+180	0,00	0,00	0,00	278,65	271,11	2,78
1+200	0,00	0,00	0,00	253,55	246,03	3,06
1+220	0,00	0,00	0,00	45,75	47,72	4,13
1+240	357,06	318,21	10,88	0,00	0,00	0,00
1+260	1478,22	1438,28	2,70	0,00	0,00	0,00
1+280	3165,08	3173,58	0,27	0,00	0,00	0,00
1+300	5118,16	5158,39	0,79	0,00	0,00	0,00
1+320	6334,17	6300,21	0,54	0,00	0,00	0,00
1+340	5756,41	5700,96	0,96	0,00	0,00	0,00
1+360	4292,34	4318,75	0,62	0,00	0,00	0,00
1+380	3008,31	3058,48	1,67	0,00	0,00	0,00
1+400	2010,30	2043,43	1,65	0,00	0,00	0,00
1+420	1151,95	1054,24	8,48	0,00	0,00	0,00
1+440	354,11	256,18	27,66	31,02	27,34	13,46
1+460	0,00	0,00	0,00	34,23	35,26	2,92
1+480	0,00	0,00	0,00	22,80	21,34	6,84
1+500	248,18	325,87	31,30	0,00	0,00	0,00
1+520	1536,47	1538,82	0,15	0,00	0,00	0,00
1+540	1751,91	1616,12	7,75	0,00	0,00	0,00
1+560	463,62	403,18	13,04	40,97	19,50	110,10
1+580	0,00	0,00	0,00	24,62	24,34	1,15
1+600	52,48	110,02	109,64	3,14	0,23	1265,22
1+620	814,72	707,71	13,13	0,00	0,00	0,00
1+640	1981,69	1954,57	1,37	0,00	0,00	0,00

	Dron	E.T		Dron	E.T	
PK	Vol. Corte(m³)	Vol. Corte(m³)	% De variación	Vol. Relleno(m³)	Vol. Relleno(m³)	% De variación
1+660	3488,09	3682,35	5,57	0,00	0,00	0,00
1+680	5529,20	5631,62	1,85	0,00	0,00	0,00
1+700	6269,41	6239,01	0,48	0,00	0,00	0,00
1+720	4815,09	4869,03	1,12	0,00	0,00	0,00
1+740	2726,11	2782,78	2,08	0,00	0,00	0,00
1+760	1114,75	991,25	11,08	0,00	0,00	0,00
1+780	194,89	144,63	25,79	5,47	4,89	11,86
1+800	0,00	0,00	0,00	8,82	11,63	24,16
1+820	0,00	0,00	0,00	26,26	40,70	35,48
1+840	0,00	0,00	0,00	38,40	24,27	58,22
1+860	341,14	193,58	43,25	0,00	0,00	0,00
1+880	622,45	473,75	23,89	0,00	0,00	0,00
1+900	290,37	280,17	3,51	1,84	8,45	78,22
1+920	9,06	0,00	100,00	64,03	52,55	21,85
1+940	0,00	0,00	0,00	96,87	93,34	3,78
1+960	0,00	0,00	0,00	128,37	115,88	10,78
1+980	0,00	0,00	0,00	138,06	115,43	19,60
2+000	0,00	0,00	0,00	86,63	96,39	10,13
2+020	0,00	0,00	0,00	25,99	28,57	9,03
2+040	98,13	70,50	28,16	0,00	0,00	0,00
2+060	570,29	434,73	23,77	0,00	0,00	0,00
2+080	1053,40	932,09	11,52	0,00	0,00	0,00
2+100	1305,44	1344,67	3,01	0,00	0,00	0,00
2+120	1525,09	1648,01	8,06	0,00	0,00	0,00
2+140	1579,10	1728,96	9,49	0,00	0,00	0,00
2+160	1780,88	1889,90	6,12	0,00	0,00	0,00
2+180	2381,92	2220,99	6,76	0,00	0,00	0,00
2+200	2513,78	2438,81	2,98	0,00	0,00	0,00
2+220	2297,95	2392,24	4,10	0,00	0,00	0,00
2+240	1643,63	1813,57	10,34	0,00	0,00	0,00
2+260	924,99	1016,02	9,84	0,00	0,00	0,00
2+280	588,83	447,58	23,99	0,00	0,00	0,00
2+300	144,05	102,87	28,59	28,68	92,04	68,84
2+320	0,00	0,00	0,00	177,82	116,09	53,17
2+340	0,00	0,00	0,00	52,08	117,89	55,82
2+360	0,00	0,00	0,00	46,27	69,26	33,19
2+380	0,00	0,00	0,00	42,04	63,13	33,41
2+400	0,00	0,00	0,00	65,11	73,17	11,02
2+420	0,00	0,00	0,00	88,87	96,18	7,60
2+440	0,00	0,00	0,00	103,74	83,62	24,06
2+460	0,00	0,00	0,00	49,36	50,76	2,76
2+480	0,00	0,00	0,00	14,35	14,39	0,28
2+500	5,82	0,00	100,00	8,53	34,02	74,93
2+520	5,82	0,00	100,00	112,46	138,67	18,90

	Dron	E.T		Dron	E.T	
PK	Vol. de corte (m³)	Vol. de corte(m³)	% De variación	Vol. Relleno(m³)	Vol. De Relleno(m³)	% De variación
2+540	0,00	0,00	0,00	95,66	109,58	12,70
2+560	0,00	0,00	0,00	37,46	39,86	6,02
2+580	51,29	0,00	100,00	8,88	18,95	53,14
2+600	51,29	78,21	52,49	7,61	0,00	0,00
2+620	544,36	513,95	5,59	0,00	0,00	0,00
2+640	1462,94	1331,97	8,95	0,00	0,00	0,00
2+660	2412,07	2314,15	4,06	0,00	0,00	0,00
2+680	3461,52	3314,38	4,25	0,00	0,00	0,00
2+700	4131,40	4075,12	1,36	0,00	0,00	0,00
2+720	4490,27	4455,19	0,78	0,00	0,00	0,00
2+740	4656,29	4567,26	1,91	0,00	0,00	0,00
2+760	4434,14	4381,52	1,19	0,00	0,00	0,00
2+780	3845,79	3695,21	3,92	0,00	0,00	0,00
2+800	2678,00	2590,65	3,26	0,00	0,00	0,00
2+820	1608,38	1633,52	1,56	0,00	0,00	0,00
2+840	1046,34	1018,38	2,67	0,00	0,00	0,00
2+860	374,81	374,83	0,01	3,04	12,51	75,70
2+880	0,00	3,87	0,00	39,47	28,29	39,52
2+900	0,00	0,00	0,00	16,31	20,82	21,66
2+920	0,00	0,00	0,00	19,25	22,29	13,64
2+940	0,00	0,00	0,00	17,09	17,18	0,52
2+960	0,00	0,00	0,00	15,35	15,03	2,13
2+980	0,00	0,00	0,00	13,82	13,86	0,29
3+000	0,00	0,00	0,00	12,46	13,20	5,61
3+020	0,00	3,55	0,00	11,68	2,74	326,28
3+040	43,39	188,04	333,37	0,73	0,57	28,07
3+060	289,00	448,29	55,12	0,00	0,00	0,00
3+080	449,13	350,83	21,89	1,01	5,20	80,58
3+100	203,52	87,03	57,24	50,12	52,17	3,93
3+120	0,00	0,00	0,00	104,89	100,35	4,52
3+140	0,00	0,00	0,00	153,77	162,37	5,30
3+160	0,00	0,00	0,00	316,84	198,77	59,40
3+180	0,00	0,00	0,00	122,92	124,52	1,28
3+200	10,00	0,00	100,00	48,38	57,05	15,20
3+220	80,56	14,11	82,49	35,12	29,93	17,34
3+240	223,08	80,76	63,80	25,42	22,43	13,33
3+260	354,38	283,17	20,09	9,81	1,43	586,01
3+280	488,72	511,91	4,75	10,47	0,00	0,00
3+300	595,76	656,69	10,23	2,57	0,00	0,00
3+320	656,60	748,64	14,02	2,60	0,00	0,00
3+340	816,46	764,57	6,36	0,00	0,00	0,00
3+360	617,77	624,09	1,02	7,23	0,00	0,00
3+380	354,57	439,03	23,82	5,95	4,81	23,70
3+400	237,85	382,60	60,86	3,31	2,23	48,43

	Dron	E.T		Dron	E.T	
PK	Vol. Corte(m³)	Vol. Corte(m³)	% De variación	Vol. Relleno(m³)	Vol. Relleno(m³)	% De variación
3+420	188,39	432,69	129,68	0,00	0,00	0,00
3+440	539,59	614,61	13,90	0,00	0,00	0,00
3+460	998,57	756,47	24,24	0,00	0,00	0,00
3+480	810,95	640,18	21,06	0,00	0,00	0,00
3+500	439,64	513,55	16,81	0,00	0,00	0,00
3+520	641,76	673,83	5,00	0,00	0,00	0,00
3+540	952,70	1062,29	11,50	0,00	0,00	0,00
3+560	975,39	1523,84	56,23	0,00	0,00	0,00
3+580	1400,82	1821,52	30,03	0,00	0,00	0,00
3+600	1875,98	1856,86	1,02	0,00	0,00	0,00
3+620	1691,64	1751,43	3,53	0,00	0,00	0,00
3+640	1485,52	1549,01	4,27	0,00	0,00	0,00
3+660	1252,74	1244,06	0,69	0,00	0,00	0,00
3+680	798,49	860,71	7,79	0,00	0,00	0,00
3+700	419,53	327,45	21,95	0,00	3,45	100,00
3+720	184,05	0,00	100,00	21,07	34,68	39,24
3+740	0,00	0,00	0,00	54,27	31,56	71,96
3+760	0,00	0,00	0,00	263,44	86,97	202,91
3+780	0,00	0,00	0,00	23,89	61,18	60,95
3+800	11,00	0,00	100,00	60,75	54,89	10,68
3+820	22,23	0,00	100,00	48,03	76,35	37,09
3+840	145,92	0,00	100,00	42,58	25,82	64,91
3+860	664,83	389,25	41,45	0,00	0,00	0,00
3+880	1203,86	1067,22	11,35	0,00	0,00	0,00
3+900	1236,12	1261,64	2,06	0,00	0,00	0,00
3+920	1001,46	1053,01	5,15	0,00	0,00	0,00
3+940	824,71	858,66	4,12	0,00	0,00	0,00
3+960	887,60	1123,65	26,59	0,00	0,00	0,00
3+980	1719,12	2241,20	30,37	0,00	0,00	0,00
4+000	3107,44	3314,08	6,65	0,00	0,00	0,00
4+020	3322,10	3185,66	4,11	0,00	0,00	0,00
4+040	2365,13	2340,64	1,04	0,00	0,00	0,00
4+060	1528,70	1573,00	2,90	0,00	0,00	0,00
4+080	994,43	1127,59	13,39	0,00	0,00	0,00
4+100	1094,21	1250,36	14,27	0,00	0,00	0,00
4+120	1781,46	1742,13	2,21	0,00	0,00	0,00
4+140	2285,55	2118,19	7,32	0,00	0,00	0,00
4+160	2334,20	2165,84	7,21	0,00	0,00	0,00
4+180	2088,13	1928,08	7,66	0,00	0,00	0,00
4+200	1536,90	1453,03	5,46	0,00	0,00	0,00
4+220	909,18	933,05	2,63	0,00	0,00	0,00
4+240	412,10	444,46	7,85	0,00	0,00	0,00
4+260	88,68	93,21	5,11	19,01	8,56	122,08
4+280	4,43	2,78	37,25	11,29	11,71	3,59

	Dron	E.T		Dron	E.T	
PK	Vol. de corte(m³)	Vol. de corte(m³)	% De variación	Vol. Relleno(m³)	Vol. Relleno(m³)	% De variación
4+300	0,00	0,00	0,00	9,41	9,14	2,95
4+320	0,00	0,00	0,00	22,59	20,15	12,11
4+340	0,00	0,00	0,00	26,28	27,03	2,77
4+360	0,00	0,00	0,00	22,81	24,56	7,13
4+380	0,00	0,00	0,00	22,18	20,90	6,12
4+400	0,00	0,00	0,00	14,16	13,76	2,91
4+420	0,00	0,00	0,00	5,98	5,45	9,72
4+440	16,01	15,45	3,50	0,00	0,00	0,00
4+460	99,77	95,48	4,30	0,00	0,00	0,00
4+480	189,79	195,33	2,92	0,00	0,00	0,00
4+500	219,61	226,32	3,06	0,00	0,00	0,00
4+520	233,38	225,88	3,21	0,00	0,00	0,00
4+540	223,83	222,55	0,57	0,00	0,00	0,00
4+560	135,43	165,27	22,03	3,85	0,44	775,00
4+580	126,23	120,10	4,86	0,00	0,00	0,00
4+600	174,03	136,55	21,54	0,00	0,00	0,00
4+620	146,29	132,42	9,48	0,00	0,00	0,00
4+640	115,09	99,86	13,23	0,00	0,00	0,00
4+660	88,12	76,31	13,40	0,00	0,00	0,00
4+680	67,18	62,80	6,52	0,00	0,00	0,00
4+700	37,39	42,03	12,41	0,07	0,00	0,00
4+720	17,15	14,05	18,08	0,75	16,84	95,55
4+740	6,82	0,00	100,00	34,22	28,55	19,86
4+760	0,00	0,00	0,00	82,90	55,29	49,94
4+780	0,00	0,00	0,00	75,79	98,10	22,74
4+800	0,00	0,00	0,00	64,99	56,68	14,66
4+820	4,42	0,00	100,00	34,12	20,46	66,76
4+840	204,11	2,90	98,58	0,00	4,86	100,00
4+860	447,59	144,44	67,73	0,00	0,00	0,00
4+880	511,15	403,53	21,05	0,00	0,00	0,00
4+900	521,38	529,83	1,62	0,00	0,00	0,00
4+920	575,11	573,09	0,35	0,00	0,00	0,00
4+940	645,47	629,21	2,52	0,00	0,00	0,00
4+960	669,34	670,43	0,16	0,00	0,00	0,00
4+980	714,18	703,23	1,53	0,00	0,00	0,00
5+000	753,87	732,63	2,82	0,00	0,00	0,00
5+020	788,47	765,21	2,95	0,00	0,00	0,00
5+040	802,01	738,76	7,89	0,00	0,00	0,00
5+060	678,46	633,76	6,59	0,00	0,00	0,00
5+080	524,70	509,70	2,86	0,00	0,00	0,00
5+100	449,49	376,24	16,30	0,00	0,00	0,00
5+120	272,00	154,28	43,28	0,20	7,49	97,33
5+140	99,85	3,37	96,62	16,52	32,59	49,31
5+160	37,03	0,00	100,00	9,40	15,64	39,90

	Dron	E.T		Dron	E.T	
PK	Vol. Corte(m³)	Vol. Corte(m³)	% De variación	Vol. Relleno(m³)	Vol. Relleno(m³)	% De variación
5+180	0,00	0,00	0,00	51,82	26,33	96,81
5+200	0,00	0,00	0,00	29,79	42,58	30,04
5+220	0,00	4,96	0,00	14,27	10,85	31,52
5+240	132,82	182,60	37,48	0,00	0,00	0,00
5+260	425,31	242,23	43,05	0,51	0,00	0,00
5+280	352,87	144,32	59,10	0,00	0,00	0,00
5+300	378,38	126,34	66,61	0,00	0,63	100,00
5+320	625,81	170,94	72,69	0,00	0,00	0,00
5+340	657,49	455,91	30,66	0,00	0,00	0,00
5+360	607,36	598,75	1,42	0,00	0,00	0,00
5+380	475,83	487,62	2,48	0,00	0,00	0,00
5+400	363,31	366,68	0,93	0,00	0,00	0,00
5+420	187,43	174,64	6,82	0,00	0,00	0,00
5+440	293,24	97,68	66,69	0,00	0,00	0,00
5+460	521,40	167,47	67,88	0,00	0,00	0,00
5+480	691,17	295,55	57,24	0,00	0,00	0,00
5+500	763,79	465,89	39,00	0,00	0,00	0,00
5+520	563,66	474,01	15,90	0,00	0,00	0,00
5+540	671,20	732,19	9,09	0,00	0,00	0,00
5+560	1051,04	1179,87	12,26	0,00	0,00	0,00
5+580	1297,88	1269,53	2,18	0,00	0,00	0,00
5+600	1061,70	1139,64	7,34	0,00	0,00	0,00
5+620	602,64	759,49	26,03	0,00	0,00	0,00
5+640	337,15	396,02	17,46	0,55	0,00	0,00
5+660	238,95	390,72	63,52	0,00	0,00	0,00
5+680	213,66	292,92	37,10	0,07	0,00	0,00
5+700	73,53	62,19	15,42	45,78	13,84	230,78
5+720	0,00	0,00	0,00	32,44	30,84	5,19
5+740	0,00	0,00	0,00	57,20	68,28	16,23
5+760	0,00	0,00	0,00	108,33	117,89	8,11
5+780	0,00	0,00	0,00	96,74	88,37	9,47
5+800	0,00	0,00	0,00	67,40	60,30	11,77
5+820	0,00	0,00	0,00	83,21	36,40	128,60
5+840	0,00	0,00	0,00	15,67	15,96	1,82
5+860	82,46	23,59	71,39	0,00	0,00	0,00
5+880	143,26	97,20	32,15	0,00	0,00	0,00
5+900	77,16	125,11	62,14	1,75	0,00	0,00
5+920	19,77	54,26	174,46	5,49	5,70	3,68
5+940	55,68	2,76	95,04	0,00	5,41	100,00
5+960	204,24	141,94	30,50	0,00	0,00	0,00
5+980	228,58	234,82	2,73	0,00	0,00	0,00
5+996,705	77,27	109,19	41,31	0,27	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia,

Observando todos volúmenes obtenidos según las progresivas y calculando los porcentajes de variación, se pudo observar porcentajes de variación altos y bajos.

Tabla 3.9 Tipo de variación

Rango		Tipo de variación
0	0	Nula
10%	19%	Muy débil
20%	30%	Débil
50%	69%	Moderada
70%	84%	Significativa
85%	95%	Fuerte
>96%		Muy fuerte

Fuente: Elaboración propia

Variación del Volumen de corte

La tabla 3.10 nos muestra un promedio de 19,52% del porcentaje de variación para los volúmenes de corte, donde la mayor parte de los datos del porcentaje de variación están dentro de un rango de variación de 0% a 20%.

Según la tabla 3.9 el promedio de variación es considerado una variación muy débil.

Tabla 3.10 Promedio del porcentaje de variación (corte)

Promedio en porcentaje de variación de volumen de corte	19,52%
Valor máximo	333,37%
Valor mínimo	0,00%

Rango	Núm. De datos
=0	75
>0% - 20%	150
>20% - 40%	28
>40% - 60%	16
>60% - 80%	11
>80%	21

Fuente: Elaboración propia

Variación del Volumen de relleno

La tabla 3.11 nos muestra un promedio de 27,19% del porcentaje de variación para los volúmenes de relleno, donde la mayor parte de los datos del porcentaje de variación son igual a 0, significando que no hay volumen de corte en 167 progresivas, tanto en los datos del dron como los de la estación total.

Según la tabla 3.9 el promedio de variación es considerado una variación débil.

Tabla 3.11 Promedio de porcentaje de variación (corte)

Promedio en porcentaje de variación de volumen de relleno	27,19%
Valor máximo	1265,22%
Valor mínimo	0,00%

Rango	Núm. De datos
=0	167
>0% - 20%	65
>20% - 40%	19
>40% - 60%	11
>60% - 80%	9
>80%	30

Fuente: Elaboración propia

3.6. Correlaciones

3.6.1. Correlación de volumen en corte (Dron vs Estación total)

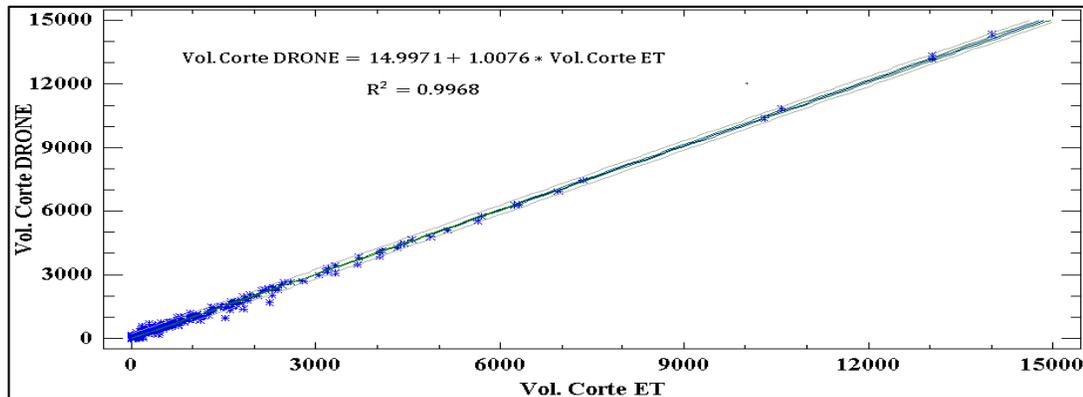
Tabla 3.12 Comparación de modelos alternos

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Cuadrado Doble	0,9997	99,95%
Lineal	0,9984	99,68%
Raíz Cuadrada Doble	0,9931	98,62%
Cuadrado de X	0,9093	82,69%
Raíz Cuadrada de Y	0,9031	81,55%
Cuadrado de Y	0,9006	81,11%
Raíz Cuadrada de X	0,8999	80,98%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0,6793	46,14%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,6688	44,72%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.12 se puede observar la comparación de modelos alternos para realizar una correlación del volumen de corte (Dron) y el volumen de corte (Estación total).

Figura 3.39 Correlación de volumen en corte Dron vs Estación total



Fuente: Elaboración propia

La figura 3.39 nos muestra el mejor modelo de ajuste "Lineal" para describir la relación entre el volumen de corte (Dron) y volumen de corte (Estación total).

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Vol. Corte Dron} = 14,9971 + 1,0076 * \text{Vol. Corte E. T}$$

El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 99,6766% de la variabilidad en Vol. Corte Dron. El coeficiente de correlación es igual a 0,998382, indicando una relación perfecta entre las variables.

3.6.2. Correlación de volumen en corte (Estación total vs Dron)

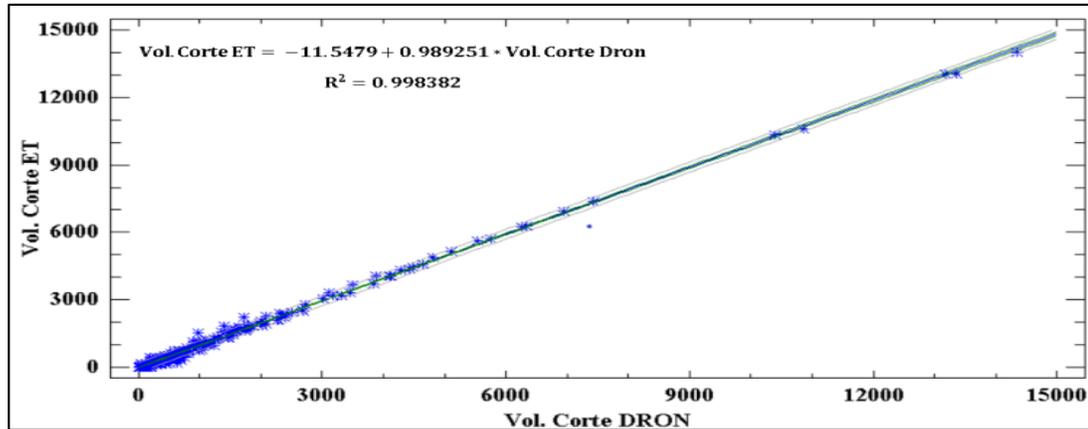
Tabla 3.13 Comparación de modelos alternos

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Cuadrado Doble	0,9997	99,95%
Lineal	0,9984	99,68%
Cuadrado de Y	0,9093	82,69%
Raíz Cuadrada de X	0,9031	81,55%
Cuadrado de X	0,9006	81,11%
Raíz Cuadrada de Y	0,8999	80,98%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,6793	46,14%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0,6688	44,72%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.13 se puede observar la comparación de modelos alternos para realizar una correlación del volumen de corte (Estación total) y el volumen de corte (Dron).

Figura 3.40 Correlación de volumen en corte (Estación total vs Dron)



Fuente: Statgraphics

La figura 3.40 nos muestra el mejor modelo de ajuste “Lineal” para describir la relación entre el volumen de corte (Estación total) y volumen de corte (Dron).

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Vol. Corte Est. Total} = -11,5479 + 0,989251 * \text{Vol. Corte Dron}$$

El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 99,6766% de la variabilidad en Vol. Corte del levantamiento topográfico con estación total. El coeficiente de correlación es igual a 0,998382, indicando una relación perfecta entre las variables.

3.6.3. Correlación de volumen en relleno Dron vs Estación total

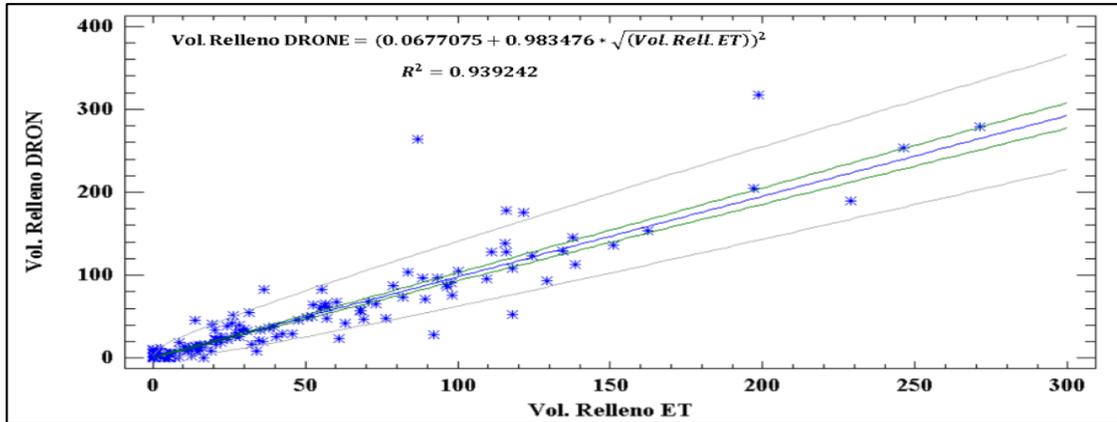
Tabla 3.14 Comparación de modelos alternos

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Raíz Cuadrada Doble	0,9678	93,67%
Lineal	0,9392	88,22%
Raíz Cuadrada de Y	0,9161	83,92%
Raíz Cuadrada de X	0,8776	77,01%
Cuadrado de X	0,8568	73,41%
Cuadrado Doble	0,8540	72,94%
Cuadrado de Y	0,7852	61,66%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0,7203	51,88%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,6380	40,71%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.14 se puede observar la comparación de modelos alternos para realizar una correlación del volumen de corte (Dron) y el volumen de corte (Estación total).

Figura 3.41 Correlación de volumen de relleno Dron vs Estación total



Fuente: Statgraphics

La figura 3.41 nos muestra el mejor modelo de ajuste "Raíz cuadrada doble" para describir la relación entre el volumen de corte (Dron) y volumen de corte (Estación total).

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Vol. Relleno Dron} = (0,0677075 + 0,983476 * \sqrt{(\text{Vol. Rell. E. T})})^2$$

El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 93,6683% de la variabilidad en Vol. Relleno Dron después de transformar a una escala logarítmica para linearizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a 0,967824, indicando una relación perfecta entre las variables.

3.6.4. Correlación de volumen en relleno Estación total vs Dron

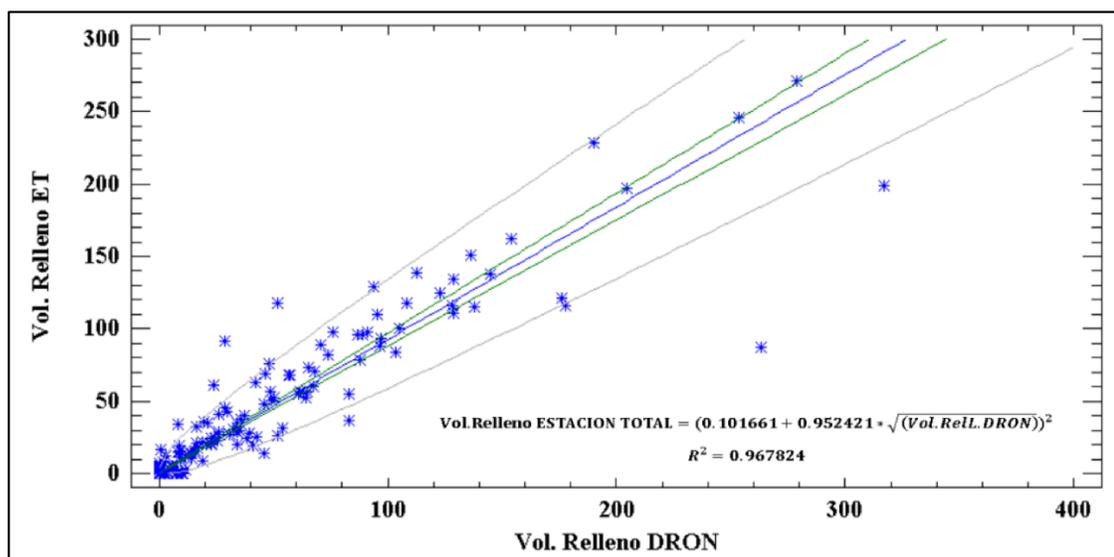
Tabla 3.15 Comparación de modelos alternos

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Raíz Cuadrada Doble	0,9678	93,67%
Lineal	0,9392	88,22%
Raíz Cuadrada de X	0,9161	83,92%
Raíz Cuadrada de Y	0,8776	77,01%
Cuadrado de Y	0,8568	73,41%
Cuadrado Doble	0,8540	72,94%
Cuadrado de X	0,7852	61,66%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,7203	51,88%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0,6380	40,71%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.15 se puede observar la comparación de modelos alternos para realizar una correlación del volumen de corte (Estación total) y el volumen de corte (Dron).

Figura 3.42 Correlación de volumen de relleno Estación total vs Dron



Fuente: Statgraphics

La figura 3.42 nos muestra el mejor modelo de ajuste "Raíz cuadrada doble" para describir la relación entre el volumen de corte (Estación total) y volumen de corte (Dron).

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Vol. Rell. Estacion total} = (0,101661 + 0,952421 * \sqrt{(\text{Vol. Rell. Dron})})^2$$

El estadístico R² indica que el modelo ajustado explica 93,6683% de la variabilidad en Vol. Relleno ET después de transformar a una escala logarítmica para linearizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a 0,967824, indicando una relación perfecta entre las variables.

3.6.5. Correlación de volumen de corte y relleno

Se sumó los datos obtenidos de volumen de relleno más el de corte para el método clásico, se realizó lo mismo para el método moderno para así realizar un análisis de correlación e donde obtendremos una ecuación sin importar si sea volumen o relleno.

Tabla 3.16 Valores de volúmenes de corte más volúmenes de relleno,

Vol. Total DRON	Vol. Total ET
Vol. Corte +Vol. Relleno	Vol. Corte +Vol. Relleno
0	2,76
254,59	184,56
70,64	89,33
11,75	14,62
92,69	77,83
363,94	348,52
734,09	633,97
768,91	629,96
506,07	442,07
405,59	398,54
598,93	615,26
1059,05	1050,83
1453,84	1331,34
1231,98	962,01
580,76	344,96
192,36	106,37
87,89	78,68
341,64	302,84
793,61	682,42
943,48	953,04
1563,41	1643,48
2351,24	2280,05

Vol. Total DRON	Vol. Total ET
Vol. Corte +Vol. relleno	Vol. Corte +Vol. Relleno
2025,47	1819,93
791,58	647,85
56,74	67,86
618,18	558,4
1758,3	1685,38
2681,53	2497,14
2076,78	2292,33
1362,2	1598,73
1476,26	1298,5
1845,69	1837,31
3887,65	4045,08
7437,32	7354,12
10857,12	10570,38
13169,68	13026,55
14338,17	14010,42
13355,04	13026,27
10385,11	10318,2
6948,98	6942,27
4110,99	4050,07
2267,93	2116,31
1035,15	801,06
312,73	196,18
28,78	45,68
214,04	201,66
650,95	531,5
546,53	443,9
129,1	150,31
61,44	56,88
67,91	70,71
128,55	110,89
175,89	121,39
91,2	97,86
136,34	151,03
190,12	228,68
204,44	197,15
128,61	134,51
93,72	129,42
278,65	271,11
253,55	246,03
45,75	47,72
357,06	318,21
1478,22	1438,28
3165,08	3173,58
5118,16	5158,39
6334,17	6300,21

Vol. Total DRON	Vol. Total ET
Vol. Corte +Vol. Relleno	Vol. Corte +Vol. Relleno
5756,41	5700,96
4292,34	4318,75
3008,31	3058,48
2010,3	2043,43
1151,95	1054,24
385,13	283,52
34,23	35,26
22,8	21,34
248,18	325,87
1536,47	1538,82
1751,91	1616,12
504,59	422,68
24,62	24,34
55,62	110,25
814,72	707,71
1981,69	1954,57
3488,09	3682,35
5529,2	5631,62
6269,41	6239,01
4815,09	4869,03
2726,11	2782,78
1114,75	991,25
200,36	149,52
8,82	11,63
26,26	40,7
38,4	24,27
341,14	193,58
622,45	473,75
292,21	288,62
73,09	52,55
96,87	93,34
128,37	115,88
138,06	115,43
86,63	96,39
25,99	28,57
98,13	70,5
570,29	434,73
1053,4	932,09
1305,44	1344,67
1525,09	1648,01
1579,1	1728,96
1780,88	1889,9
2381,92	2220,99
2513,78	2438,81
2297,95	2392,24

Vol. Total DRON	Vol. Total ET
Vol. Corte +Vol. Relleno	Vol. Corte +Vol. Relleno
1643,63	1813,57
924,99	1016,02
588,83	447,58
172,73	194,91
177,82	116,09
52,08	117,89
46,27	69,26
42,04	63,13
65,11	73,17
88,87	96,18
103,74	83,62
49,36	50,76
14,35	14,39
14,35	34,02
118,28	138,67
95,66	109,58
37,46	39,86
60,17	18,95
58,9	78,21
544,36	513,95
1462,94	1331,97
2412,07	2314,15
3461,52	3314,38
4131,4	4075,12
4490,27	4455,19
4656,29	4567,26
4434,14	4381,52
3845,79	3695,21
2678	2590,65
1608,38	1633,52
1046,34	1018,38
377,85	387,34
39,47	32,16
16,31	20,82
19,25	22,29
17,09	17,18
15,35	15,03
13,82	13,86
12,46	13,2
11,68	6,29
44,12	188,61
289	448,29
450,14	356,03
253,64	139,2
104,89	100,35

Vol. Total DRON	Vol. Total ET
Vol. Corte +Vol. relleno	Vol. Corte +Vol. relleno
153,77	162,37
316,84	198,77
122,92	124,52
58,38	57,05
115,68	44,04
248,5	103,19
364,19	284,6
499,19	511,91
598,33	656,69
659,2	748,64
816,46	764,57
625	624,09
360,52	443,84
241,16	384,83
188,39	432,69
539,59	614,61
998,57	756,47
810,95	640,18
439,64	513,55
641,76	673,83
952,7	1062,29
975,39	1523,84
1400,82	1821,52
1875,98	1856,86
1691,64	1751,43
1485,52	1549,01
1252,74	1244,06
798,49	860,71
419,53	330,9
205,12	34,68
54,27	31,56
263,44	86,97
23,89	61,18
71,75	54,89
70,26	76,35
188,5	25,82
664,83	389,25
1203,86	1067,22
1236,12	1261,64
1001,46	1053,01
824,71	858,66
887,6	1123,65
1719,12	2241,2
3107,44	3314,08
3322,1	3185,66

Vol. Total DRON	Vol. Total ET
Vol. Corte +Vol. relleno	Vol. Corte +Vol. relleno
2365,13	2340,64
1528,7	1573
994,43	1127,59
1094,21	1250,36
1781,46	1742,13
2285,55	2118,19
2334,2	2165,84
2088,13	1928,08
1536,9	1453,03
909,18	933,05
412,1	444,46
107,69	101,77
15,72	14,49
9,41	9,14
22,59	20,15
26,28	27,03
22,81	24,56
22,18	20,9
14,16	13,76
5,98	5,45
16,01	15,45
99,77	95,48
189,79	195,33
219,61	226,32
233,38	225,88
223,83	222,55
139,28	165,71
126,23	120,1
174,03	136,55
146,29	132,42
115,09	99,86
88,12	76,31
67,18	62,8
37,46	42,03
17,9	30,89
41,04	28,55
82,9	55,29
75,79	98,1
64,99	56,68
38,54	20,46
204,11	7,76
447,59	144,44
511,15	403,53
521,38	529,83
575,11	573,09

Vol. Total DRON	Vol. Total ET
Vol. Corte +Vol. relleno	Vol. Corte +Vol. relleno
645,47	629,21
669,34	670,43
714,18	703,23
753,87	732,63
788,47	765,21
802,01	738,76
678,46	633,76
524,7	509,7
449,49	376,24
272,2	161,77
116,37	35,96
46,43	15,64
51,82	26,33
29,79	42,58
14,27	15,81
132,82	182,6
425,82	242,23
352,87	144,32
378,38	126,97
625,81	170,94
657,49	455,91
607,36	598,75
475,83	487,62
363,31	366,68
187,43	174,64
293,24	97,68
521,4	167,47
691,17	295,55
763,79	465,89
563,66	474,01
671,2	732,19
1051,04	1179,87
1297,88	1269,53
1061,7	1139,64
602,64	759,49
337,7	396,02
238,95	390,72
213,73	292,92
119,31	76,03
32,44	30,84
57,2	68,28
108,33	117,89
96,74	88,37
67,4	60,3
83,21	36,4

Vol. Total DRON	Vol. Total ET
Vol. Corte +Vol. relleno	Vol. Corte +Vol. relleno
15,67	15,96
82,46	23,59
143,26	97,2
78,91	125,11
25,26	59,96
55,68	8,17
204,24	141,94
228,58	234,82
77,54	109,19

Fuente: Elaboración propia

3.6.5.1. Correlación de volumen de corte + relleno Dron vs Estación total

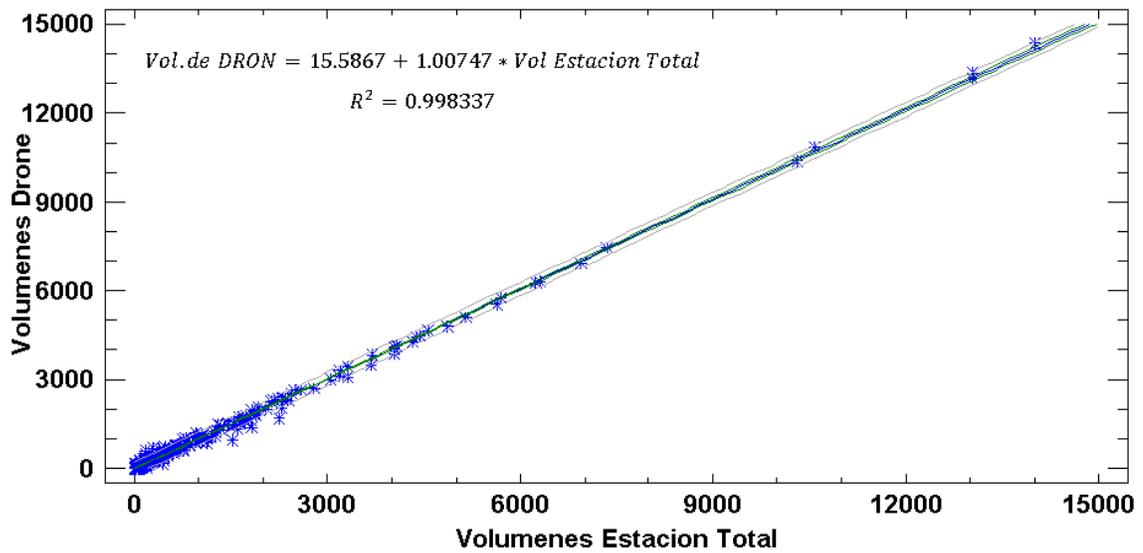
Tabla 3.17 Correlación de volumen Dron vs Estación total

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Cuadrado Doble	0,9997	99,95%
Lineal	0,9983	99,67%
Raíz Cuadrada Doble	0,9927	98,55%
Raíz Cuadrada de Y	0,9267	85,88%
Raíz Cuadrada de X	0,9226	85,12%
Cuadrado de X	0,9118	83,13%
Cuadrado de Y	0,9030	81,54%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0,7150	51,13%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,7044	49,62%
Logaritmo de X	0,6834	46,71%
Cuadrado-Y Log-X	0,4208	17,71%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0,3773	14,24%
Inversa de X	-0,2197	4,83%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0,1010	1,02%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.14 se puede observar la comparación de modelos alternos para realizar una correlación del volumen de corte más el volumen de relleno de la Estación Total y el volumen de corte más el volumen de relleno del Dron.

Figura 3.43 Correlación de volumen de corte y relleno Dron vs E.T.



Fuente: Statgraphics

La figura 3.43 nos muestra el mejor modelo de ajuste "Lineal" para describir la relación entre el volumen de corte + volumen de relleno (Estación total) y volumen de corte + volumen de relleno (Dron).

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Vol. de Dron} = 15,5867 + 1,00747 * \text{Vol Estacion Total}$$

El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 99,95% de la variabilidad en el volumen del Dron después de transformar a una escala logarítmica para linearizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a 0,9997, indicando una relación perfecta.

3.6.5.2. Correlación de volumen de corte + relleno Estación total vs Dron

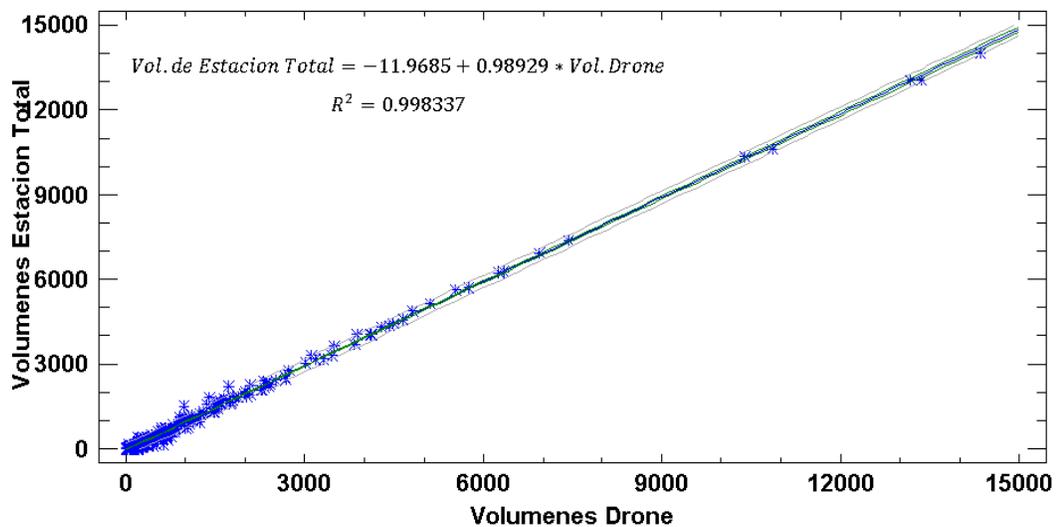
Tabla 3.18 Correlación de volumen corte y relleno E.T. vs Dron

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Cuadrado Doble	0,9997	99,95%
Lineal	0,9983	99,67%
Raíz Cuadrada Doble	0,9927	98,55%
Raíz Cuadrada de Y	0,9267	85,88%
Raíz Cuadrada de X	0,9226	85,12%
Cuadrado de X	0,9118	83,13%
Cuadrado de Y	0,9030	81,54%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0,7150	51,13%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,7044	49,62%
Logaritmo de X	0,6834	46,71%
Cuadrado-Y Log-X	0,4208	17,71%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0,3773	14,24%
Inversa de X	-0,2197	4,83%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0,1010	1,02%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.18 se puede observar la comparación de modelos alternos para realizar una correlación del volumen de corte más el volumen de relleno de la Estación Total y el volumen de corte más el volumen de relleno del Dron.

Figura 3.44 Correlación de Volumen de corte y relleno E.T. vs Dron



Fuente: Statgraphics

La figura 3.44 nos muestra el mejor modelo de ajuste "Lineal" para describir la relación entre el volumen de corte + volumen de relleno (Estación total) y volumen de corte + volumen de relleno (Dron).

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Vol. de Estacion Total} = -11,9685 + 0,98929 * \text{Vol Dron}$$

El estadístico R² indica que el modelo ajustado explica 99,6677% de la variabilidad en Volúmenes Estación Total. El coeficiente de correlación es igual a 0,998337, indicando una relación relativamente perfecta entre las variables.

3.6.6. Ecuaciones obtenidas

Tabla 3.19 Ecuaciones para volúmenes

Correlación	Ecuación para volumen de corte	Ecuación para volumen de relleno
Dron vs Estación total	$x = 14,9971 + 1,0076 * y$	$a = (0,0677075 + 0,983476 * \sqrt{(b)})^2$
Estación total vs Dron	$y = -11,5479 + 0,989251 * x$	$b = (0,101661 + 0,952421 * \sqrt{(a)})^2$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

x= Volumen de corte dron.

a = Volumen de relleno dron.

y= Volumen de corte estación total.

b = Volumen de relleno estación total.

Se planteó una ecuación única sin importar que sea volumen de corte o relleno para el movimiento de tierra del dron vs estación total.

Tabla 3.20 Ecuaciones de relleno + corte

Vol. Dron Vs Vol. Estación Total	$f = 15,5867 + 1,00747 * g$
Vol. Estación total Vs Vol. Dron	$g = -11,9685 + 0,98929 * f$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

f= Volumen total para movimiento de tierra del dron.

g= Volumen total para movimiento de tierra de la estación total.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se obtuvo la topografía del terreno por el levantamiento topográfico clásico y moderno con dron siguiendo el procedimiento correspondiente del proceso de datos en gabinete como se indica en la teoría.
- El modelo digital del terreno realizado por el levantamiento topográfico moderno se calcula a partir de una nube de puntos densa, detallando absolutamente todo.
- Con la información del levantamiento topográfico tanto del dron como de la estación total, el cálculo del movimiento de tierras se determinó mediante el programa civil 3d cada 20 m dando un total de movimiento de tierra para la topografía moderna en volumen de corte total de 312831,68 m³ y un volumen de relleno total de 136508,13 m³, mientras que para la topografía moderna se obtuvo un volumen de movimiento de tierra total en corte total de 305993,28 m³ y un volumen de relleno total de 132797,92m³.
- Se comparó ambos procedimientos para el levantamiento topográfico (dron y estación total), el método clásico se realizó en 9 días de trabajo de campo y 2 días de trabajo de gabinete, el levantamiento topográfico moderno se realizó en 3 días de trabajo de campo y 2 días de trabajo de gabinete.
- La comparación de datos obtenidos de los volúmenes de movimiento de tierra se lo realizó mediante el porcentaje de variación, donde el promedio de variación en volumen de corte es de 19,52%, y la variación en volumen de relleno es de 27,19%, haciendo un análisis usando la tabla de Pearson nos da un tipo de variación muy débil y débil respectivamente.
- Se realizó correlaciones entre datos de volúmenes en movimiento de tierra de topografía con dron y estación total, para reducir los porcentajes de variación.
- La precisión de cada punto (x,y,z) de una estación total está garantizada por las especificaciones técnicas del instrumento, en este caso es de $\pm 2 \text{ mm} + 1 \text{ pmm}$, la precisión de cada punto del modelo generado por el proceso del levantamiento topográfico moderno no se puede determinar, pero si se puede calcular un error

haciendo una comparación entre ambas superficies y se puede verificar que este no es mayor a 10 cm.

- Con el levantamiento topográfico moderno, se pueden tomar detalles imperceptibles para un levantamiento clásico con estación total, como la geología del lugar, cuerpos de agua ocultos, cárcavas, etc.
- La gran desventaja de la aerofotogrametría es que si existe una vegetación densa no se puede penetrar a la superficie del terreno natural.
- Con todo lo anterior se puede concluir: Si bien la precisión en cada punto es menor en el levantamiento moderno que en el levantamiento clásico, en el primero el nivel de detalle es significativamente mayor, generando así un modelo más fidedigno para realizar el cálculo de volúmenes.
- El levantamiento topográfico moderno es mucho más barato y de menor riesgo humano.

4.2. Recomendaciones

- Verificar antes de realizar un vuelo la velocidad del viento para determinar si es apto para volar así evitar inconvenientes.
- Es necesario hacer la planificación del vuelo antes de ir al lugar e ir calibrando cada que así se requiera.
- Es necesario seguir las instrucciones ya antes mencionadas para el cuidado de la estación total ya que es un instrumento muy costoso, Tanto al momento del armado y al guardar la estación.
- No se debe olvidar quitar los seguros que tiene el dron para proteger la cámara al momento de iniciar el vuelo.
- Se debe usar un dron adecuado para usarlo en topografía cualquier dron no es apto para realizar este tipo de trabajo.
- Para los instrumentos que se utilizaron dron, estación total y RTK se debe revisar antes de ir al ampo que todos estén con un nivel alto de batería porque una vez estando ahí será una pérdida de tiempo que alguno este con un nivel de batería bajo.

- Tomando en cuenta la última conclusión, se debe trabajar siempre en un sistema geodésico de referencia y con coordenadas proyectadas, en este caso se debe referir todo al sistema WGS-84, Zona 205, Proyección UTM, Se debe tener en cuenta todos los parámetros necesarios para ambos levantamientos.

