



*Análisis comparativo topográfico sobre levantamientos altimétricos con RTK  
GNSS, Estación Total y Drone en Manta*

*Comparative topographic analysis on altimetric surveys with RTK GNSS, Total  
Station and Drone in Manta*

*Análise topográfica comparativa em levantamentos altimétricos com RTK GNSS,  
Estação Total e Drone em Manta*

Javier Enrique Baque-Solis <sup>I</sup>

[javierbaque\\_3@hotmail.com](mailto:javierbaque_3@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-8156-9906>

Luisa Marcela Cuadrado-Torres <sup>II</sup>

[cuadrado-luisa@gmail.com](mailto:cuadrado-luisa@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-9170-2582>

Biby Guadalupe Palacios-Paredes <sup>III</sup>

[palacios-biby@gmail.com](mailto:palacios-biby@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-5175-8968>

**Correspondencia:** [javierbaque\\_3@hotmail.com](mailto:javierbaque_3@hotmail.com)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 13 de octubre de 2022 \* **Aceptado:** 28 de noviembre de 2022 \* **Publicado:** 09 de diciembre de 2022

- I. Ingeniero Civil, Magíster en Gestión del Transporte con mención en Tráfico, Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador.
- II. Ingeniera Civil, Egresada de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador.
- III. Ingeniera Civil, Egresada de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador.

## Resumen

En el proyecto se hace una comparación de los resultados altimétricos y planimétricos entre RTK GNSS, Estación Total y el Drone para brindar resultados confiables que cumplan los requerimientos necesarios para un levantamiento topográfico. El trabajo tienen como objetivo general comparar los métodos de levantamientos topográficos altimétricos entre los equipos RTK GNSS, Estación Total y el DRONE en 3 sitios de la ciudad de Manta. De igual forma tiene los objetivos específicos de Analizar una fundamentación teórica del tema, realizar un levantamiento topográfico altimétrico en 3 zonas determinadas con los métodos RTK GNSS, Estación total y Drone, aAnalizar los resultados de los distintos levantamientos topográficos realizados y omparar los resultados entre los equipos RTK GNSS, Estación total y Drone. En base al levantamiento topográfico de los tres terrenos, con RTK GNSS, la Estación Total y el DRONE, se podrán determinar las diferencias existentes entre los tres levantamientos, para así verificar cuáles serían los datos que más se asemejen entre sí y obtener la precisión general según las características del terreno. Una de las conclusiones más importante es que la precisión absoluta de cada terreno se la puede obtener mediante softwares como PIX4D, Agisoft y DroneDeploy, en este trabajo se lo realizo con el programa Agisoft que trabaja incorporado los datos obtenidos del DRONE y RTK, porque ambos equipos trabajan de mejor manera incorporados.

**Palabras claves:** Análisis comparativo; Topografía; Levantamiento altimétrico; RTK GNSS; Estación Total y Drone.

## Abstract

In the project, a comparison of the altimetric and planimetric results between RTK GNSS, Total Station and the Drone is made to provide reliable results that meet the necessary requirements for a topographic survey. The general objective of the work is to compare the methods of altimetric topographic surveys between the RTK GNSS, Total Station and DRONE equipment in 3 sites in the city of Manta. Likewise, it has the specific objectives of Analyzing a theoretical foundation of the subject, carrying out a altimetric topographic survey in 3 determined areas with the RTK GNSS, Total Station and Drone methods, aAnalyze the results of the different topographic surveys carried out and compare the results between the RTK GNSS, Total Station and Drone equipment. Based on the topographic survey of the three terrains, with RTK GNSS, the Total

Station and the DRONE, it will be possible to determine the differences between the three surveys, in order to verify which data would be the most similar to each other and obtain the general precision. depending on the characteristics of the terrain. One of the most important conclusions is that the absolute precision of each terrain can be obtained through software such as PIX4D, Agisoft and DroneDeploy, in this work it was carried out with the Agisoft program that works incorporated with the data obtained from the DRONE and RTK, because both Teams work better together.

**Keywords:** Comparative analysis; Topography; Altimetric survey; RTK GNSS; Total Station and Drone.

### Resumo

No projeto, é feita uma comparação dos resultados altimétricos e planimétricos entre RTK GNSS, Estação Total e Drone para fornecer resultados confiáveis que atendam aos requisitos necessários para um levantamento topográfico. O objetivo geral do trabalho é comparar os métodos de levantamentos topográficos altimétricos entre os equipamentos RTK GNSS, Estação Total e DRONE em 3 locais na cidade de Manta. Da mesma forma, tem como objetivos específicos Analisar uma fundamentação teórica do assunto, realizando um levantamento topográfico altimétrico em 3 áreas determinadas com os métodos RTK GNSS, Estação Total e Drone, aAnalisar os resultados dos diferentes levantamentos topográficos realizados e comparar os resultados entre os equipamentos RTK GNSS, Estação Total e Drone. Com base no levantamento topográfico dos três terrenos, com o RTK GNSS, a Estação Total e o DRONE, será possível determinar as diferenças entre os três levantamentos, de forma a verificar quais dados seriam os mais semelhantes entre si e obter a precisão geral, dependendo das características do terreno. Uma das conclusões mais importantes é que a precisão absoluta de cada terreno pode ser obtida através de softwares como PIX4D, Agisoft e DroneDeploy, neste trabalho foi realizado com o programa Agisoft que trabalha incorporado com os dados obtidos do DRONE e RTK , porque ambas as equipes trabalham melhor juntas.

**Palavras-chave:** Análise comparativa; Topografia; Levantamento altimétrico; RTK GNSS; Estação Total e Drone.

## Introducción

En la actualidad la tecnología juega un papel muy importante en el mundo, debido a su desarrollado rápido y en el ámbito topográfico uno de estos avances significativos son los drones los cuales están creciendo en el sector audiovisual. Son capaces de capturar grandes imágenes y videos de lugares de acceso dificultosos. Además, ayudan a cubrir extensiones amplias de terrenos en menos tiempo.

El valor económico estándar de un dron semiprofesional es de aproximadamente 1800 dólares y está capacitado para en un día 100 hectáreas de terreno. En cambio, hay drones de un valor alrededor de 15000 dólares, son más modernos y alcanzan las 5000 hectáreas. Por ello son muy ventajosos, ya que a veces ciertos equipos topográficos tendrán dificultad para acceder a ciertas zonas no accesibles, esto permite que sea de gran ventaja sobre otros métodos tradicionales.

También se implementará un método diferencial como es el RTK GNSS, el cual tiene un receptor fijo que estará en una localidad donde están las coordenadas conocidas, mientras que el receptor móvil es aquel que se hallará en movimiento para determinar las coordenadas en tiempo real. Por último, se empleará un aparato electro-óptico como lo es la estación total. Su utilización radica en la medición de precisión.

Todo esto da como problema a investigar la exigüidad de información sobre la precisión y el resultado de un levantamiento topográfico utilizando el RTK GNSS, la Estación Total y DRONE en diferentes terrenos de la ciudad de Manta.

Para el planteamiento del problema se tiene que analizar que en la actualidad se están implementando nuevos instrumentos para realizar levantamientos topográficos que facilitan una medición topográfica. No obstante, queda la inquietud sobre la importancia de precisión y de los resultados que se obtienen mediante el RTK, la Estación total y el Drone.

Al respecto, la ciudad de Manta es una de las más importantes del país en cuestión de turismo y negocios. Es por esto que se encuentra en un constante proceso de desarrollo, en cuanto a los trabajos de construcción avanzan significativamente y esto conlleva a que se realicen estudios necesarios para una construcción, es aquí que se sitúan principalmente los trabajos topográficos, los cuales actualmente se están realizando con nuevos métodos para la obtención de resultados más rápidos requiriendo además la precisión de los mismos.

Lo que lleva a afirmar que para realizar un buen levantamiento topográfico es fundamental obtener la precisión en el campo de estudio. En base a lo mencionado se podrá realizar este proyecto de

investigación de tal manera que los resultados que se obtengan sean de mayor confiabilidad para el constructor.

Pero para ello, es importante recordar que desde la antigüedad hasta la actualidad el hombre ha buscado vivir en terrenos más cómodos en cuanto a la textura del suelo y a la topografía. A lo largo del tiempo se han implementado muchos instrumentos para facilitar las construcciones de residencias más estables y con escasez de posibles colapsos. Con el pasar de los años se fue desarrollando poco a poco la topografía. La cual hace referencia a un estudio que se realiza a la superficie de la tierra, sus formas y detalles, por eso es muy importante para evaluaciones de proyectos de obras tanto civiles como arquitectónicas.

La obligación que asume un topógrafo es realizar un levantamiento adecuado topográfico, planimétrico y altimétrico, se lo realiza antes de iniciar cualquier proyecto u obra para así facilitarle la información al ingeniero o arquitecto proyectista.

Actualmente con la tecnología se han implementado nuevos e innovadores métodos para realizar un levantamiento topográfico. Sin embargo, existe la intranquilidad en cuanto a la importancia de la exactitud y los resultados que se consiguen mediante los distintos tipos de medición. Para este caso se trabajará con equipos eficientes y que se usan en las últimas décadas y son el RTK GNSS, la Estación Total y el Drone, para conocer cuáles son las ventajas y desventajas que nos pueda ofrecer.

El presente proyecto de investigación se realiza con la finalidad de hacer una comparación topográfica usando el RTK GNSS, Estación Total y un Drone, para posteriormente determinar cuál de estos instrumentos es más óptimo en cuanto a tiempo y costos para un buen levantamiento topográfico; asimismo verificar el acercamiento de datos que tienen entre ellos, obteniendo la precisión según el terreno, en función a sus características.

El objeto de estudio principal para la elaboración de este proyecto, es poder comparar y certificar que el RTK GNSS, la Estación Total y el Drone ofrezcan resultados confiables que cumplan con los requerimientos necesarios para un levantamiento topográfico.

El proyecto se enfocará en una comparación de los resultados altimétricos y planimétricos entre RTK GNSS, Estación Total y el Drone de manera que brinden resultados confiables los cuales cumplan los requerimientos necesarios para un levantamiento topográfico.

Esto lleva a plantear como objetivo general comparar los métodos de levantamientos topográficos altimétricos entre los equipos RTK GNSS, Estación Total y el DRONE en 3 sitios de la ciudad de Manta.

## **Materiales y métodos**

Pero para llegar a esas conclusiones, es necesario primero revisar un conjunto de conceptos que ayudarán a comprender mejor este trabajo de investigación.

Uno de estos conceptos es la topografía, que es una de las ciencias más significativas para estudiar cómo se comporta un terreno es la topografía, la cual previene y predice desastres naturales, puede detectar fuentes de energía, preparar terrenos para una construcción, controlar y conocer la contaminación, para realizar estas importantes actividades donde emplea equipos laser, GPS y satélites.

La palabra topografía tiene como raíces topos, que significa "lugar", y grafos que significa "descripción". Esta representación tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de geodesia para áreas mayores. De manera muy simple, puede decirse que para un topógrafo la Tierra es plana, mientras que para un geodesta no lo es. (Significados.com, 2016)

Se basa en un sistema de coordenadas tridimensional (X, Y y Z), donde X y Y comprenden a la planimetría, mientras que Z a la altimetría.

Actualmente conocer sobre topografía es muy importante para las diferentes áreas, donde la más imprescindible es el sector constructivo, porque si no existe el uso adecuado del mismo no se podrá obtener datos de las características del terreno, a la vez las edificaciones y puente serán inseguros.

La superficie del planeta presenta varias formas y esto debe de trasladarse a un mapa o a un plano, actividad que lleva miles de años siendo practicada. En la antigüedad los agrimensores egipcios medían los límites de los terrenos y junto a los babilonios utilizaban cuerdas para calcular ángulos y la verticalidad de los montículos. Los primeros instrumentos utilizados fueron la escuadra, el compás y la plomada. (Chirinos, s.f.)

De igual importancia es la planimetría, que estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la posición exacta de los puntos del terreno, y construir de esa manera una gráfica similar a la realidad. (Jhon ny, 2012)

Lo que lleva a la altimetría, que es donde se determina las alturas de los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia, que usualmente se asume como el nivel medio del mar. (Jhonny, 2012)

Ahora bien, para la aplicación de estas técnicas, es necesario conocer los equipos que se implementarán en la investigación, donde destaca en primer lugar el RTK, que Real Time Kinematic, que se traduce como Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real, y alía la tecnología de navegación por satélites a un módem de radio o a un teléfono GSM para obtener correcciones instantáneas. El posicionamiento con esta técnica se está incorporando de a poco a las actividades que involucran análisis de registros hidrográficos, explotación minera, monitoreo de vehículos y control preciso de maquinaria, entre otras aplicaciones. (Topoequipos, s.f.)

Actualmente el uso del RTK es cada vez más significativo, porque se ha convertido en un método de levantamiento topográfico con una alta precisión, en áreas pequeñas y su utilización se puede implementar donde se usen las estaciones totales convencionales. Lo cual incluye levantamientos con detalles, replanteo, aplicaciones COGO, entre otras.

Para el levantamiento topográfico con RTK se utilizó el modelo V60 es un sistema GNSS RTK de diseño más compacto y de mayor rendimiento, además su diseño robusto para resistir impactos y vibraciones. El V60 tiene industrial OLED pantalla en su panel de control de frente para mostrar toda la información y el estado del trabajo.

Los GNSS, sea cual sea su origen, su principal funcionamiento es el mismo. Estos sistemas se apoyan en una constelación de satélites, no geoestacionarios, que orbitan alrededor de la Tierra, de modo que su posición en cada instante es conocida. Aprovechando este dato y realizando una medida de la distancia que nos separa de cada uno de ellos, se puede calcular una intersección inversa que proporciona su posición.

De igual forma, últimamente se están activando por diversas partes del mundo las redes llamadas RTK o redes GNSS, las cuales permiten disponer de alta precisión sin tener que acudir a un de estación base. La red RTK se basa en un conjunto de receptores GPS (o GNSS) permanentes, repartidos por un área extensa cuya señal combinada se emplea para generar las correcciones diferenciales RTK que cualquier receptor clientes GPS pueda necesitar durante su trabajo. Hoy en día existen redes RTK operativas en muchos países (Reino Unido, Irlanda, Alemania, España partes de América y de Australia entre otros). Las redes RTK pueden variar en tamaño, desde

pequeñas redes locales con unas pocas estaciones de referencia, hasta docenas de estaciones cubriendo todo un país.

Con estas redes, se pueden realizar levantamientos topográficos en RTK que se trata de un tipo de levantamiento cinemático que resuelve las coordenadas de los puntos medidos en tiempo real.

En este método, se necesita un Receptor de Referencia y uno Móvil. Ambos estarán conectados a través de un enlace de radio, de manera que la Estación de Referencia retransmite los datos que recibe de los satélites al Móvil, que a su vez recibe también los datos directamente de los satélites a través de su propia antena.

A partir de estos dos conjuntos de datos, es posible la resolución de las ambigüedades y obtener una posición bastante precisa con respecto al Receptor (Estación) de Referencia. Estas coordenadas serán diferenciales respecto de la Referencia, alcanzando precisiones entre 1 y 5 centímetros.

El contacto entre ambos receptores debe existir siempre para alcanzar estas precisiones. Si el algún momento esta conexión se pierde (interferencia de árboles o edificios), debe establecerse para seguir midiendo, ya que, de otra manera, la precisión bajaría mucho en calidad. (DeTopografía., 2013)

Para a llevar a cabo este método se siguen los siguientes pasos:

Se debe hacer la configuración del equipo en modo RTK indicando al momento de crear el nuevo proyecto, en donde se va a almacenar la información, cuál será el sistema de las coordenadas que manejará el equipo.

Se deben ingresar las coordenadas del punto base (punto de control) desde donde se hará la corrección en tiempo real (Este método me exige que debo tener un punto materializado con coordenadas conocidas para poder llevarlo a cabo).

Se debe hacer de igual manera la configuración del equipo que estará mostrando las coordenadas corregidas, pero indicando que este aparato será conocido como ROVER.

Antes de iniciar el levantamiento, se recomienda ubicarse con el rover en un punto con coordenadas conocidas para verificar la calidad de los datos.

Iniciado el levantamiento debe estar atento a la alarma que me indica que los equipos si están haciendo transferencia y están correctamente comunicados.

Nota: Este método es muy útil al momento de realizar replanteos, además puede ser usado en caso de tener que volver a terreno puesto que se disminuyen los tiempos y facilita el trabajo puesto que no se debe realizar el post-proceso.

En lo que se refiere a Estación total, es un instrumento electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimutes (ángulos) y distancias. (Todoequipos, 2014)

Otra tecnología que se utilizará en la investigación es el Drone o UAV (unmanned aerial vehicle), traducido al español hace referencia a un vehículo aéreo no tripulado. Son naves o vehículos que dependiendo su modelo algunos reciben el nombre de cuadricópteros, sexacópteros u octacópteros, dependiendo de si tiene 4, 6 u 8 hélices. Se puede definir a un dron como un vehículo que se controla por control remoto, que para elevarse utiliza la fuerza de giro de sus motores unidos a las hélices.

El funcionamiento de un Drone es similar al de un avión o un helicóptero. Se ponen en marcha los motores y las aletas se mueven para posibilitar el vuelo. Después, con los mandos de control se va dirigiendo el vuelo, que dependerá en gran medida de los conocimientos y la pericia del piloto. En algunos casos, es posible fijar un rumbo de forma automática. Los modelos que lo permiten incorporan un GPS que permite ir corrigiendo el vuelo y ajustarlo hasta llegar al punto indicado. Estos se sumen usar para realizar rondas de observación cíclicas, sin que haga falta un piloto que lo controle. Simplemente se observa lo que recoge la cámara, que se envía en tiempo real o se graba dependiendo del caso. (Valencia, 2018)

Los Drones hacen levantamiento topográfico gracias a que se pueden equipar con cámaras fotográficas y pueden recorrer el terreno que se quiere estudiar en cuestión de minutos, con niveles de precisión óptimos. Además, si hay zonas poco accesibles o poco seguras para las personas es un elemento perfecto para llegar a ellas sin problemas.

Las imágenes que han captado las cámaras del Drone son procesadas mediante programas y herramientas específicas. Así se obtienen nubes de millones de puntos que son un fiel reflejo de la realidad. Estas imágenes se pueden georreferenciar y escalar, además de extraer coordenadas, distancias, volúmenes, perfiles... y a partir de ello realizar modelos 3D y ortofotos, por ejemplo. Con ello ya se puede empezar a trabajar en el proyecto, ya sean obras civiles, como intervenciones arqueológicas, intervenciones en minería o para gestionar cultivos, entre otras posibilidades. (Global, 2018)

Por ello, existen infinitos usos y verticales que disfrutan de los beneficios de estas herramientas, donde destacan: Levantamientos topográficos y modelos digitales de terreno precisos; Cálculo de volúmenes y movimientos de tierras; Gestión y actualizaciones catastrales; Cartografía digital; Seguimiento y monitorización de obras, inventarios, trabajos de subcontratas...; Estimación y presupuestado de trabajos de mantenimiento en carreteras; Seguimiento y mantenimiento de infraestructuras ferroviarias; Generación de mapas de alta resolución de líneas eléctricas. (Insights, 2019)

En lo que se refiere a los materiales y equipos usados en campo fueron: clavos de acero de ½", estacas de madera con dimensiones de 5\*5\*40 cm, pintura aerosol roja y un combo.

Referente a los equipos utilizados como se mencionó anteriormente son: RTK GNSS modelo V60, Estación Total "Stonex R1 Plus" y el Drone "Mavic Pro", cada uno de ellos con sus respectivos complementos. Junto a esto se utilizó para la programación del vuelo del dron el software o aplicación para smartphone Pix4D, además se requirió para el procesamiento de la información de algunos softwares y programas como: AutoCAD, Civil 3D, Excel y el Agisoft Metshape Professional.

Luego de tener todos los materiales y equipos para realizar el trabajo de campo se empieza con la etapa de reconocimiento del trabajo, así como la recolección de datos. Esta etapa es fundamental ya que determinará tanto el área a trabajar, la ubicación de los puntos de control terrestre también llamado (georreferenciación), y de tal modo la técnica para tomar los puntos tanto de forma directa con la Estación Total y el RTK GNSS; y como técnica indirecta la aplicación del dron y las tomas aéreas. Esta fase es muy crucial y a la vez decisiva porque se tendrá que analizar que método es el más adecuado tanto económico como técnico en sus resultados finales.

Consecutivamente se realiza la georreferenciación, esta parte es muy importante ya que se establece la posición y ubicación de los puntos de control con los cuales se enlaza el proyecto o la

toma de datos de campo; así mismo estas se vincularán a los puntos de control terrestre para que sean considerados en la toma aérea, previa señalización.

Con respeto al lugar de ejecución del proyecto, se realizó en 3 terrenos en el cantón Manta provincia de Manabí. Siendo los 3 terrenos uno llano ubicado en la playa Murciélago, uno boscoso y otro con edificaciones, ubicado en la ciudad de Manta en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

El terreno se encuentra ubicado al frente de la facultad de arquitectura, donde se localiza un área que era un parque anteriormente y que actualmente es una zona con árboles, la cual es adecuada para el proyecto.

## **Análisis y Discusión de resultados**

### **Resultados del levantamiento topográfico terreno 1**

Se realizó el trazo de la poligonal con el uso de un Drone, el cual tuvo un vuelo a 100 m de distancia desde la superficie, se adquieren las coordenadas planas por medio de la fotogrametría, donde se procesa la información obtenida en el software Agisoft PhotoScan o Metashape, para así georreferenciarlas, obteniendo por medio de fotografías digitales los Orto mosaicos, nubes de puntos y DSM (modelo digital de superficie) y, con flujo de trabajos completamente automático.

Para obtener una comparación visual de polígonos entre los métodos, se utilizó el software AutoCAD Civil 3D, donde se montaron los 3 levantamiento con sus respectivas coordenadas, con ello se pudo determinar de manera visual y empírica, la diferencia que existen unas con la otras, especialmente en el lugar donde se generaban. El color rojo Estación Total y verde RTK.

Con la ayuda de este software, se obtuvo 3 polígonos que refleja la comparación entre la diferencia de los datos obtenidos. En el cual se observa que es mínima la variación que existe, al ser un terreno llano se obtuvo una precisión mayor en las 3 poligonales. El error es mínimo debido que las coordenadas con los 3 equipos su diferenciación fue muy poca.

Al analizar costo en levantamiento topográfico, el costo de equipos y de personal usando el drone Mavic Pro en el primer terreno y las medidas con la estación total, tienen los resultados más bajos, mientras que el RTK es más elevado. Sin embargo, en el costo solo de alquiler resulta más económica la Estación Total.

En lo referente al tiempo, en el levantamiento topográfico del área de estudio de la investigación se realizó en las condiciones presentadas a continuación, condiciones comunes.

Los tiempos presentados por cada método de levantamiento empleado, han sido tomados en base a las pruebas de campo obtenidas en el trabajo realizado, cabe aclarar que estos tiempos no incluyen: el reconocimiento del área, la Monumentación, ni la obtención de las coordenadas de referencia ocupadas.

## **Resultados del levantamiento topográfico terreno 2**

Se efectuó el trazo de la poligonal con el uso de un drone, el cual tuvo un vuelo a 80m de distancia desde la superficie, se adquieren las coordenadas planas por medio de la fotogrametría, donde procesamos la información obtenida en el software Agisoft PhotoScan, para así georreferenciarlas, obteniendo por medio de fotografías digitales los Orto mosaicos, nubes de puntos y DSM (modelo digital de superficie) y, con flujo de trabajos completamente automático.

Para la obtención de comparación de manera visual se utilizó el software AutoCAD Civil 3D, donde se enlazaron los 3 levantamiento con sus respectivas coordenadas, esto se observa en la ilustración 29. Se puede apreciar que en este terreno particularmente la variación fue mayor a la de la playa, debido a que es un área con edificaciones, cables y tipos de interrupciones de por medio. Las cuales interfieren en la señal del RTK, siendo así que se puede apreciar ciertas variaciones en unos puntos, pero en otros se nota que hay precisión. Cabe recalcar que la señal del RTK se puede ver afectada con lo mencionado anteriormente, donde la precisión por ende será menor a la del terreno llano.

Para el cálculo del costo de cada uno de los métodos de levantamiento topográfico, se realizó un aproximado en base a precios actualmente vigentes, así como experiencia en campo de profesionales de esta área.

En que se refiere al tiempo, en el levantamiento topográfico del área de estudio de la presente investigación se realizó en las condiciones presentadas a continuación, condiciones comunes.

Los tiempos no incluyen: el reconocimiento del área, la Monumentación, ni la obtención de las coordenadas de referencia ocupadas.

El tiempo empleado para el levantamiento topográfico y trabajo de oficina fue menor para la RTK”, siendo así se establece que se puede alcanzar más área y obtener muchos más datos de interés para realizar el análisis, ya que el GPS se levanta la información de los puntos mientras se

camina de forma direccional y rápida, así mismo el tiempo de posproducción, que con los conocimientos y software adecuados se pueden realizar en un corto período de tiempo, no obstante el día que se obtuvieron los datos empezó una pequeña brisa, lo que ocasionó una falla temporal en cierto punto debido al enlace de comunicación del receptor GNSS con la estación. Así también como la interferencia de señal, cables y construcciones mismas que pueden generar una falla en puntos.

### **Resultados del levantamiento topográfico terreno 3**

Con respecto al Drone, se ejecutó el trazo de la poligonal con el uso de un dron, el cual tuvo un vuelo a 80m de distancia desde la superficie, se adquieren las coordenadas planas por medio de la fotogrametría, donde procesamos la información obtenida en el software Agisoft PhotoScan, para así georreferenciarlas, obteniendo por medio de fotografías digitales los Orto mosaicos, nubes de puntos y DSM (modelo digital de superficie) y, con flujo de trabajos completamente automático. En estación total, se realizó el levantamiento por el método de poligonal cerrada para obtener las coordenadas de los puntos deseados.

En lo referido a RTK, se realizó el levantamiento por el método de poligonal cerrada para obtener las coordenadas de cada punto.

Para obtener una comparación visual de polígonos, entre los métodos se utilizó el software AutoCAD Civil 3D, donde se ajustaron los 3 levantamiento con sus respectivas coordenadas.

Para el cálculo del costo de cada uno de los métodos de levantamiento topográfico, se realizó un aproximado en base a precios actualmente vigentes, así como experiencia en campo de profesionales de esta área.

El costo usando el drone Mavic Pro en el primer terreno y las medidas con la estación total, tienen los resultados más bajos, lo cual el sistema utilizado para este caso el Drone para mejor precisión se recomienda usar junto con la Estación Total.

El tiempo empleado para el levantamiento topográfico y trabajo de oficina fue menor para la RTK, esto nos da una idea que podemos abarcar más área y obtener muchos más datos de interés para realizar el análisis, ya que el GPS se levanta la información de los puntos mientras se camina de forma direccional y rápida, así mismo el tiempo de posproducción, que con los conocimientos y software adecuados se pueden realizar en un corto periodo de tiempo. Cabe recalcar que al ser

un terreno con área boscosa se ocasionan tipo de falla o interferencias en los enlaces de comunicación del receptor GNSS con la estación.

### **Análisis y resultados de los diferentes levantamientos topográficos realizados en la ciudad de Manta**

Los levantamientos topográficos realizados en los diferentes terrenos de estudio, se basa en hacer una comparación de los datos recolectados con la Estación total, el RTK GNSS, y el Drone alcanzando a recopilar en gran detalle la información. Se realizará la comparación de los puntos de control de los 3 equipos para saber la precisión que los mismos. Adicional a esta comparación se estableció comparaciones de tiempo, costos, ventajas y desventajas de los terrenos con los equipos implementados.

Al referirse a precisión es hacer referencia a una medición que se realiza con una herramienta o implemento, en el cual el resultado debe ser parejo cada vez que se lleva a cabo. Un ejemplo, si hay una balanza y quieres tomar el peso, así te pares 3 o 5 veces, está siempre dará el mismo resultado. En el ámbito de la ciencia, matemáticas, la precisión se torna tan importante para determinar si los datos que se obtienen son aceptables. La precisión se puede expresar estadísticamente utilizando el rango de los valores, la desviación media o la desviación estándar. Sin embargo, la desviación estándar es posiblemente la medida que se utiliza más comúnmente para la precisión.

La precisión señala la reproducibilidad que exista en los resultados y se la define como la concordancia entre los valores o datos de dos o más medidas obtenidas de la misma manera (topografía) y para la misma muestra (cada terreno). La precisión en el presente trabajo se trabaja con la desviación estándar.

Para obtener el análisis de precisión en un estudio estadístico, se lo realizó de la siguiente manera:

- Se calcula la media o el promedio de las coordenadas de los puntos de control tanto del RTK GNSS, Estación Total y el Drone ultimando donde se localiza el punto medio de los datos.
- La variación estándar indicará que tan dispersos se encuentran los puntos respecto a la media.
- Por último, la desviación estándar para definir la precisión de los datos recolectados.

- Para la obtención de los datos y de las expresiones de análisis de precisión en un estudio estadístico, se lo realizó con la ayuda del programa Microsoft Excel, el cual facilita los cálculos porque trae integrada las fórmulas que se usaran.

## Conclusiones

El análisis de costos y actividades realizadas en cada sistema determinaron que el levantamiento topográfico con RTK GNSS, es el más eficiente en cuanto a tiempo, pero demanda de alta cantidad de costos y poca mano de obra, no obstante, es muy sensible en lo referente a la accesibilidad al área de estudio.

Los productos obtenidos con el uso de DRONE son mayores y mucho más detallados, pues se obtienen archivos en formato de imagen como es la ortofoto, sin embargo, en zonas donde se tiene una gran vegetación, se puede estimar que los datos recolectados por aerofotogrametría presentan mayor error en la precisión debido a que el software empleado para el procesamiento de datos no puede distinguir los puntos del terreno de los puntos de vegetación. Así mismo con la edificación puede existir errores si no se observan los puntos de control y tiende a general mayor diferencia.

El uso de DRONE permite caracterizar de mejor manera cualquier área de estudio, brindando más detalles y mayor precisión, con información minuciosa y de exactitud en relación a curvas de nivel y pendientes. También es muy importante en conjunto a los datos de la ESTACIÓN TOTAL y RTK GNSS, ya que permiten verificar la información topográfica con la ortofoto, siendo un importante validador de la información levantada.

Haciendo una comparación entre los polígonos de colores y la ortofoto, la zona de la edificación (terreno 2) es la que tiene mayores errores, seguidamente está el terreno 3 o boscoso con una precisión media y en lugares llanos se puede obtener precisiones muy altas. Tal fue el caso del terreno 1 con mayor precisión que los otros dos.

Se concluye que las fórmulas estadísticas usadas, permitieron proponer hipótesis acerca del comportamiento de los valores obtenidos, de forma mucho más acertada en comparación a mirar solo un dato. Se aprecia que para cada valor del parámetro se tiene un error de estimación por lo general diferente

Con los datos obtenidos de cada terreno se puede apreciar que el margen de error total es mucho menor en el terreno uno (llano), con los tres equipos ya que, en él, no hubo dificultad de acceso, traslado, y precisión, caso contrario en el terreno dos (edificaciones) y tres (vegetación), se obtienen valores un poco más altos, por presentar un nivel de dificultad mayor en cuanto acceso, por las obstrucciones, interferencias, entre otros.

La precisión absoluta de cada terreno se la puede obtener mediante softwares como PIX4D, Agisoft y DroneDeploy, en este trabajo se lo realizo con el programa Agisoft que trabaja incorporado los datos obtenidos del DRONE y RTK, porque ambos equipos trabajan de mejor manera incorporados.

Primer terreno conclusión por variables: Se determina escoger el equipo RTK, a pesar de su costo elevado, ya que en terrenos llanos beneficia en tiempo, accesibilidad, precisión y con relación a la estación ya que esta, requiere de cambios de posición, en cambio el RTK no necesita cambios puesto que cubre un diámetro entre 3 km a 5 km en terrenos despejados y es una ventaja para realizar el levantamiento en menor tiempo. Adicional se ha partido con coordenadas reales de la placa Inocar, en la imagen de la poligonal se ve que su precisión es muy exacta, ya que esto se pudo comprobar comparando el margen de error con el área real del terreno, obtenido el número más bajo 0,002488%, además se aconseja trabajar con conjunto equipo DRONE ya que es un equipo que trabaja muy bien integrado con el RTK dando una aerofotografía del terreno.

Segundo terreno: Se determina escoger el equipo Estación Total, por ser un terreno con edificaciones, ya que con el RTK se va a ver afectada un poco la señal de los satélites en la toma de puntos por los edificios, señales, cables, entre otro. A pesar de que la estación necesita de cambios de posición, se debe tener presente tratar de ubicarse en un punto donde se pueda tomar la mayor cantidad de puntos, en la imagen de la poligonal se ve que su precisión es muy exacta, esto se confirmó obteniendo el margen de error más bajo 0,037251%, en comparación con los otros equipos, adicional a esto se aconseja trabajar en conjunto con el equipo DRONE porque permite tener una ortophoto del terreno y se observa mejor el trabajo.

Tercer terreno: Se determina escoger el equipo Estación Total, por ser un terreno con vegetación lo que con el RTK se va a ver afectada un poco la señal de los satélites en la toma de puntos por el factor de la vegetación, en la imagen de la poligonal se ve que su precisión es muy exacta, esto se confirmó obteniendo el margen de error más bajo 0,067681% (el mismo se encuentra explicado en el ANEXO 2), adicional a esto se aconseja trabajar en conjunto con el equipo

DRONE porque permite tener una ortophoto del terreno, pero el drone en zona boscosa suele tener errores considerables, pero al integrarlo con otro equipo se mejora mucho la precisión.

## Referencias

1. DeTopografia. (2013, 3 25). Técnicas de medición GPS en Topografía II . Retrieved from <http://detopografia.blogspot.com/2013/03/tecnicas-de-medicion-gps-en-topografia.html>
2. Global. (2018, 06 29). LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE DRON. Retrieved from <https://www.globalmediterranea.es/levantamientos-topograficos-mediante-dron/>
3. Insights, A. (2019). Topografía con drones: qué es y cómo realizarla. Retrieved from <https://www.aerial-insights.co/blog/topografia-con-drones/>
4. Jhonny, V. (2012, 01 12). DIVISIÓN DE LA TOPOGRAFÍA. Retrieved from <http://ingeosolutions.blogspot.com/2012/01/division-de-la-topografia.html>
5. Significados.com. (2016, 05 05). Retrieved from <https://www.significados.com/topografia/>
6. Topoequipos. (2014). ¿Qué es una estación total? Retrieved from <http://www.topoequipos.com/dem/que-es/terminologia/que-es-una-estacion-total>
7. Topoequipos. (n.d.). ¿Qué es RTK? Retrieved from <http://www.topoequipos.com/dem/que-es/terminologia/qu-es-rtk>

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).