

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“VENTAJAS EN LOS LEVANTAMIENTOS
TOPOGRÁFICOS CON EL USO DE VEHÍCULOS
AEREOS NO TRIPULADOS (UAV)”

Trabajo de investigación académica para optar el grado de
Bachiller:

en **Ingeniería Civil**



Autor:

Fredy Diogenes Sedano Mateo

Rufo Wiston Pari Rendon

Lima - Perú

2018

Tabla de contenido

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN		4
1.1	Realidad problemática	4
1.2	Formulación del problema	6
1.2.1	Problema general	6
1.2.2	Problemas específicos.....	6
1.3.	Objetivos.....	6
1.3.1	Objetivo general	6
1.3.2	Objetivos específicos.....	6
1.4.	Marco Teórico.....	7
1.4.1	Antecedentes.....	7
1.4.2	Bases Teóricas	8
1.5.	Hipótesis.....	9
1.5.1	Hipótesis general	9
1.5.2	Hipótesis específicas	9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA		10
2.1	Tipo de investigación	10
2.2	Población y muestra	10
2.3	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	11
2.4	Procedimiento.....	11
2.4.1	Levantamiento topográfico utilizando receptores GNSS	11
2.4.1.1	Método Estático	12
2.4.1.2	Método RTK (Real Time Kinematic)	13
2.4.2 (UAV)	Levantamiento fotogramétrico con vehículos aéreos no tripulados 18	
2.4.3	Flujo de trabajo para un levantamiento fotogramétrico con un UAV .18	
2.4.3.1	En oficina (antes del vuelo)	18
2.4.3.2	En campo (antes del vuelo).....	19
2.4.3.3	En oficina (después del vuelo – pos proceso).....	19
2.4.3.4	Consideraciones previas.	20
2.4.3.5	Planificación de la misión.....	21
2.4.3.6	Planificación del vuelo.	22
2.4.3.7	Puntos de apoyo fotogramétrico (GCP).....	23
2.4.3.8	Ubicación de los puntos de apoyo fotogramétrico (GCP).	24
2.4.3.9	Colocación de los puntos de apoyo fotogramétrico (GCP)	25
2.4.3.10	Cámara fotográfica métrica.	26
2.4.3.11	Trabajos de campo.....	29
2.4.3.12	Comprobación del clima.	29

2.4.3.13	Límites operativos	29
2.4.3.14	Control de vuelo.....	30
2.4.3.15	Especificaciones Técnicas del UAV Trimble UX5	31
2.4.3.16	Procesamiento de imágenes.	32
2.4.3.17	Software de fotogrametría	32
2.4.3.18	Post procesamiento.....	34
2.4.3.19	Ajuste con puntos de enlace.....	34
2.4.3.20	Ajuste con puntos de control.....	34
2.4.3.21	Resolución de píxel y altura de vuelo.....	35
2.4.3.22	Aero triangulación.....	36
2.4.3.23	Solape frontal y lateral de imágenes	37
CAPÍTULO III. RESULTADOS		37
3.1	Análisis del reporte de calidad	37
3.2	Solución de problemas detectados en el reporte de calidad	38
3.3	Archivos de salida.....	38
3.3.1	Formato .LAS.....	38
3.3.2	Formato .XML malla 3d texturizada	39
3.3.3	Modelo Digital de Superficie .DSM	40
3.3.4	Curvas de nivel	40
3.3.5	Geotiff (ráster dsm, ortomosaico)	41
CAPITULO IV DISCUSIÓN		42
CONCLUSIONES		45
RECOMENDACIONES		46
REFERENCIAS		47
ANEXOS.....		48
	ANEXO N° 1. Matriz de consistencia (con una variable)	49

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

En la actualidad la topografía ha sufrido cambios tan revolucionarios y significativos, que, con la aplicación de equipos modernos y apoyados en la fotogrametría, podemos realizar los levantamientos topográficos cada vez más rápida y precisa, logrando prescindir significativamente de personas para dicho trabajo; estos resultados son de suma importancia para el diseño de proyectos de ingeniería. El uso de equipos topográficos convencionales no nos permitiría realizar trabajos de ésta envergadura en el tiempo idóneo ni con la precisión requerida, sin embargo, si utilizaría un mayor personal. Por lo expuesto, estamos convencidos que aplicando el nuevo método juntamente con las herramientas adecuadas y el uso del UAV, estaremos aprovechando las todas las ventajas que ésta tecnología nos ofrece. Al respecto, es necesario identificar las posibles áreas de aplicación de esta tecnología, dependiendo del tipo de aeronave que utilizaremos y de los resultados que esperamos obtener. Una de las ventajas más resaltantes de la aplicación de la técnica de fotogrametría digital en los levantamientos topográficos, es la elevada precisión que ofrece debido a la visión estereoscópica, Esto permite una correcta identificación de los detalles topográficos, la digitalización directa de los polígonos y la correcta georreferenciación de las líneas resultantes. Lo que permite realizar un análisis más detallado de los elementos que conforman en plano cartográfico. (Cheli, 2011), (Sobriño, 2000). Por lo tanto, la restitución digital supone una mejora en cuanto a la exactitud geométrica respecto a otros métodos de adquisición de datos. Otra de las ventajas que aporta la fotogrametría, es la posibilidad de realizar estudios multitemporales mediante la utilización de distintos vuelos fotogramétricos se puede monitorear el avance de un proyecto, y además con carácter retroactivo si se utilizan vuelos históricos. Todos los desarrollos realizados anteriormente fueron aplicados a fotogrametría terrestre, posteriormente se hicieron pruebas con globos aerostáticos, pero con la aparición de los aviones, en 1909 se realizan las primeras fotografías aéreas, entrando en desarrollo a

partir de 1920. Con la aparición de las computadoras hacia el año 1960, se da inicio a la fotogrametría analítica, cuyo punto más alto alcanza en 1980. Finalmente, en los años 90 con la aparición de la informática, discos duros de gran almacenamiento, tarjetas gráficas capaces de soportar gran cantidad de imágenes y la posibilidad de rapidez del proceso, aparecen los primeros restituidores digitales. (Sánchez, 2007). En nuestro país, la topografía a avanzado significativamente en la última década lo cual permitió realizar un análisis más complejo de la superficie terrestre. El uso de los equipos topográficos de vanguardia tales como, estaciones totales robóticas, escáneres laser y receptores GNSS es cada vez más común; sin embargo, en el último año la aplicación de tecnologías más recientes tuvo un crecimiento exponencial y el uso de sensores remotos para realizar mediciones a distancia para la recopilación de datos en campo aun es desconocido por gran parte de los ingenieros. Existen muchos estudios sobre fotogrametría clásica utilizando aeronaves tripuladas y sus diferentes variables y aplicaciones, sobre todo usando sensores como cámaras análogas RGB, lidar y radar, pero no se ha encontrado estudios referidos a la utilización de UAVs en los diferentes campos y sus innumerables aplicaciones, beneficios. (IGN, 2015). Sobre estos temas, en nuestro país existe una autoridad aeronáutica civil quien regula el uso adecuado de las UAVs. Pero es muy superficial y en algunos casos no aplica a la realidad en la que vivimos. Un sistema de aeronaves pilotadas a distancia UAV constituye un nuevo componente del sistema aeronáutico, que ha alcanzado hoy en día un desarrollo tecnológico que permite su uso en diversas aplicaciones civiles y militares. Las aeronaves pilotadas a distancia (RPA), al ser aeronaves están sujetas a la legislación aeronáutica vigente en el Perú. En consecuencia, la DGAC es responsable de controlar que el uso de dichas aeronaves en el Perú se realice en el ámbito de la ley y la seguridad. (NTC 001-2015, 2015). La fotogrametría es una ciencia en el cual por medio de fotos y el uso de la estereoscopia nos da como resultado, planos topográficos de curvas de nivel. (Quiroz, 2014).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la ventaja de realizar un levantamiento topográfico realizado por un vehículo aéreo no tripulado?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo ha evolucionado la topografía con la llegada de los vehículos aéreos no tripulados?

¿Qué factores se deben considerar antes de realizar un levantamiento topográfico?

¿Cuál de las dos técnicas de levantamiento topográfico es más eficiente y si esta eficiencia se traduce en tiempo y precisión?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar los procedimientos para un levantamiento topográfico y procesamiento hasta llegar a la obtención de mapas y modelos digitales del terreno, realizado mediante fotogrametría aérea utilizando un vehículo aéreo no tripulado.

1.3.2 Objetivos específicos

-Identificar los pasos y lineamientos necesarios para un levantamiento topográfico a lo largo de su historia, teniendo en cuenta las limitaciones y dificultades de cada época. -

-Durante el tiempo de evolución de la topografía, podemos decir, que también los factores a tener en cuenta en un levantamiento topográfico han ido cambiando según la tecnología de su tiempo, sin embargo, nos enfocaremos en la actualidad para determinar sus elementos. -

_Comparar los resultados obtenidos a partir de las dos técnicas de recolección de datos en campo (levantamiento convencional y levantamientos con drones), teniendo en cuenta la precisión y tiempo. Y segura.

1.4. Marco Teórico

1.4.1 Antecedentes

(Manuel Alejandro Olórtégui Borja y Christian Orlando Sotelo De La Torre, 2017) en la ciudad de **Huánuco-Perú**, en una tesis para graduación en Ingeniería Civil sustentó **“Levantamiento Aero fotogramétrico, Efectos e Importancia Para sus Aplicaciones En El Sector Urbano De Las Moras-Huánuco 2016”** el objetivo de la tesis es realizar un levantamiento Aero fotogramétrico en el sector urbano de las Moras de la ciudad de Huánuco para evaluar sus efectos y la importancia para sus aplicaciones, desarrolló una investigación experimental con una población de todo el pueblo joven de Las Moras, que comprende los sectores de zona urbana y zona urbana-marginal en la ciudad de Huánuco, Las conclusiones de esta investigación nos indican que existen diversas ventajas y desventajas de realizar un proyecto fotogramétrico, es necesario conocerlas, evaluarlas y ser conscientes de la realidad a aplicar para la toma de decisiones; puesto que, a pesar de ser un método de potencial información a brindar, no siempre es el mejor a aplicar en las diferentes necesidades que puedan presentarse.

(Hilario Tacca Qquelca, 2015) en la ciudad de **Puno-Perú**, en una tesis para graduación en Ingeniería Civil sustentó **“Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional”** el objetivo de la tesis fue Comparar los resultados del método drone y del software Pix4D Mapper y el método directo, Las conclusiones de esta investigación nos indican que el primer método es el menos costoso por su versatilidad, en un 95% de confianza.

(Alba Coello Romero y Gonzalo Ballesteros Abellán) en **Madrid-España**, en un proyecto de fin de carrera para graduación en Ingeniería Técnica, sustentó **“Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con topografía clásica”** el objetivo del proyecto es realizar un estudio comparativo utilizando dos procedimientos diferentes para la obtención de mapas y modelos digitales del terreno, Las conclusiones de esta investigación nos indican que: Uno de los inconvenientes que encontramos en el uso de los UAS, es la estructura legal que no ha alcanzado a la tecnología, ya que sigue a la espera de una legislación que regule su uso que se encontraba en un marco de ilegalidad cuando se realizó el proyecto. A día de hoy se ha regularizado de forma significativa, aunque todavía quedan aspectos por legislar

(Daniel Santos Clavero, 2014) en la ciudad de **Barcelona-España**, en una tesis para graduación en Ingeniería Técnica en Topografía, sustentó **“Fotogrametría usando**

plataforma aérea UAV (Unmanned Aerial Vehicle)” el objetivo del proyecto consiste en el uso de un UAV para realizar un levantamiento fotogramétrico en una zona controlada, Las conclusiones de esta investigación nos indican que los resultados obtenidos es más que viable, esta tecnología acabará siendo de uso más común en empresas y/o institutos cartográficos.

(**José Luis Lerma García y Israel Quintanilla García, 2017**) en la ciudad de **Valencia-España**, en un trabajo final de grado para la Escuela Técnica de Ingeniería Geodésica, sustentó **“Motorización y Optimización de Tierras con Drones Y Fotogrametría Aérea para Aplicaciones de Precisión en Agricultura”** el objetivo del trabajo consiste en ayudar a los agricultores a tener beneficios económicos y mejores producciones para sus cultivos, Las conclusiones de esta investigación nos indican que a precisión final geométrica del producto fue muy buena para los objetivos de dicha investigación. Este análisis, es aprobado por los agrónomos que ponen unas limitaciones para la calidad del producto. Así que, los mapas finales que se obtuvieron tenían una precisión decisiva para la fase de análisis de los datos.

1.4.2 Bases Teóricas

Es indispensable que los trabajos cartográficos y geográficos que se realicen en el país se hallen de acuerdo a lineamientos técnicos, estándares y actividades mínimas que se debe cumplir en todo posicionamiento geodésico con el objeto de permitir la unificación de métodos y procedimientos, en un marco de referencia geodésico. Todos los trabajos de georreferenciación deben estar referidos a la Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN), tomando el origen definido por el Instituto Geográfico Nacional.

En las últimas dos décadas, el desarrollo de las comunicaciones y las herramientas Informáticas han producido un acrecentamiento tal en la posibilidad de obtener, almacenar, procesar e intercambiar información, que en el caso de la Geodesia se encuentra directamente relacionada con el trabajo de tipo espacial. A fin de definir con precisión la posición de un objeto en el espacio. (IGN, 2015, p. 6 y 7).

La fotogrametría se utiliza desde hace casi un siglo para la elaboración de cartografía general o topográfica, en escalas medias e incluso grandes. Se han desarrollado metodologías que permiten el levantamiento en 3D de grandes extensiones de terreno con una precisión bastante elevada en función de la escala de trabajo. En el caso de la cartografía temática, la menor necesidad de una elevada precisión espacial y de datos 3D no justifica el empleo de estas técnicas, que requieren equipos y personal muy especializado. No obstante, la introducción de la fotogrametría digital y más recientemente del LIDAR aerotransportado o

terrestre, han supuesto una relativa simplificación de los procesos y, en consecuencia, han acercado las técnicas a operadores no tan específicos. Esto, unido a una mayor demanda de datos temáticos de alta precisión y 3D, está promoviendo el empleo de estas técnicas en estudios de diversa índole como, en este caso, de los movimientos de ladera y sus riesgos asociados.

Las ventajas de la aplicación de las técnicas de fotogrametría digital en los inventarios de movimientos de ladera, es la elevada precisión que ofrece debido a la visión estereoscópica (con posibilidad de efectuar zoom y desplazamientos). Esto permite una correcta identificación de los detalles topográficos, la digitalización directa de los polígonos y la correcta georreferenciación de las líneas resultantes. Como ventaja adicional, las líneas de contorno resultantes tienen información tridimensional, lo que permite análisis más detallados de los elementos de los movimientos de ladera. Como inconvenientes, se encuentran el procesado previo (orientación del bloque) y la propia restitución, procesos ambos que requieren un equipamiento adecuado y un operador experimentado. (Jiménez-Perálvarez, Tesis Doctoral 2011, p. 45)

1.5. Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La aplicación de vehículos aéreos no tripulados y software de proceso, para realizar un levantamiento topográfico, incrementa significativamente el rendimiento y precisión, en comparación de un levantamiento topográfico utilizando el método convencional GNSS. Los levantamientos fotogramétricos realizado con vehículos aéreos no tripulados UAV, presentan calidad en mayor grado que los levantamientos geodésicos realizado con receptores GNSS.

1.5.2 Hipótesis específicas

-La gran idea del GPS (Global Positioning System), contribuyó de gran manera para que la topografía sea cada vez más digitalizada, ahorrando tiempo y dinero.

-Uno de los principales factores para realizar un levantamiento topográfico, es el terreno; conocer el terreno es determinante tanto para optimizar tiempo como para aumentar la precisión. Otros factores a considerar son: el clima, la accesibilidad y el presupuesto.

-La elección de un adecuado vehículo aéreo no tripulado, significará eficiencia, precisión y seguridad en nuestros levantamientos topográficos.

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	OPERACIONALIZACIÓN		
		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
levantamientos Fotogramétricos utilizando vehículos aéreos no tripulados	Establecer la calidad de los levantamientos fotogramétricos, en cuanto al tiempo, precio, recursos humanos, equipos y programas	Puntos de control (geodésicos)	Ubicación de los puntos de control	GPS (navegador)
			Monumentación del punto	Concreto armado y una placa de bronce
			Tomar coordenadas del punto (modo estático)	GPS (diferencial post proceso)
		Plan de vuelo y cámara fotográfica	Escoger el UAV de acuerdo al trabajo	UAV (Trimble UX5)
			Cámara de alta resolución	Sony a5100 (24 MP)
		Software para procesar la información	Interpolación de puntos	Photoscan, Mapper v17
			Creación del plano	AutoCAD civil 3D

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

La investigación planteada corresponde al tipo explicativo, siendo en este caso una no experimental. Esta investigación esencialmente trabaja con dos muestras y se comparan entre sí.

2.2 Población y muestra

Los datos de este proyecto corresponden a la zona de Las Bambas, ubicado en la provincia de Cotabambas departamento de Apurímac, situado en altitud media es de 4000 m.s.n.m. Tiene una extensión de 15000 ha. Aproximadamente.

La superficie medida con el UAV es de aproximadamente 50 ha. Y tomo 14 minutos de vuelo, mientras que la superficie medida con el equipo GNSS es de unas 30 ha. Demando de 2 días para culminar el trabajo.

Una vez seleccionada el área a levantar se procedió a distribuir en campo estratégicamente los puntos de control terrestre (GCP) Los cuales fueron levantados en tiempo real con un GPS diferencial.

En oficina y en campo se defino la zona de la misión, posteriormente el software calcula el tiempo total de vuelo necesario para cubrir la zona de la misión.

Para cada vuelo, el piloto identifica la dirección del viento, la ubicación del área de lanzamiento y el lugar de aterrizaje, por lo que la duración del vuelo se recalcula en base a las condiciones de campo en el momento del vuelo. A continuación, se monta el lanzador y se completa la lista de comprobaciones previas al vuelo para asegurarse de que el sistema está listo para volar.

2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Si bien es cierto que existen innumerables técnicas para hacer un levantamiento topográfico, para nuestro trabajo de investigación solo nos abocaremos a los siguientes:

Método 1

Levantamiento topográfico utilizando receptores GNSS (Método estático y Método RTK)

Método 2

Levantamiento fotogramétrico con vehículos no tripulados (UAV).

Método 3

Levantamiento topográfico utilizando Estaciones Totales (tradicional).

Para nuestro estudio, éste último método no es motivo de abordarlo ya que se conoce demasiado bien como para estudiarlo sin embargo solo lo mencionaremos.

2.4 Procedimiento

2.4.1 Levantamiento topográfico utilizando receptores GNSS

Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Es un Sistema que hace uso de un conjunto de Satélites ubicados en el espacio agrupados en forma de constelaciones. Actualmente se conocen como (Global Navigation Satellite System, GNSS) Un sistema global de navegación por satélite. El cual es un sistema de medición tridimensional que utiliza señales de radio que proporciona el sistema NAVSTAR.

Los satélites NAVSTAR, orbitan la tierra en 6 planos orbitales, de 4 satélites cada uno, a una altura aproximada de 20.200 Km. es utilizado por miles de usuarios civiles alrededor del mundo.

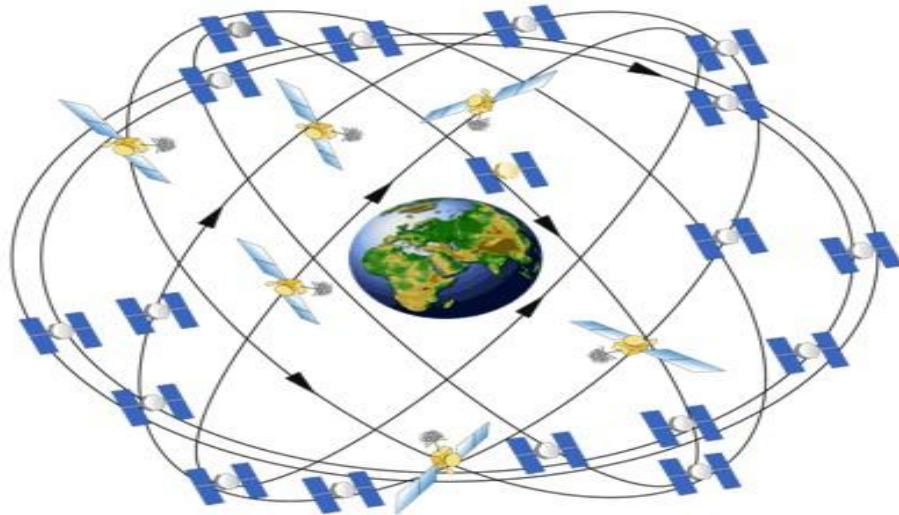


Figura 2. Constelación NAVSTAR. Fuente: www.trimble.com

Las actividades relacionadas al levantamiento topográfico han sido modificadas tremendamente durante los últimos años debido a la incorporación de instrumentos de última tecnología entre los que se puede mencionar el GNSS.

En esta técnica es necesario resaltar que la característica de mayor importancia en esta modificación se evidencia en el proceso de captura, almacenamiento, cálculo y transmisión y análisis de los datos campo, así como en la representación gráfica de los mismos; esto ha traído como consecuencia la posibilidad de obtener un producto final con mayor precisión y rapidez.

2.4.1.1 Método Estático

Para la toma de datos de todos los puntos geodésicos, se utilizará el método relativo estático, estos se obtendrán con apoyo de por lo menos un punto geodésico, que estén separados equidistantemente, a una distancia no mayor de 100 Km al punto geodésico que se quiere establecer, considerando el tiempo continuo de observación no menor a 900 registros o épocas de coincidencia con la base, a no menor de un 1 segundo ni mayor de cinco 5 segundos de sincronización con la base, y con el rastreo permanente no menor de 4 satélites.

El sistema GPS funciona mediante unas señales de satélite codificadas que pueden ser procesadas en un receptor GNSS permitiéndole calcular su posición, velocidad y tiempo.

Según el sistema de referencia se usó el método diferencial (o relativo) en el cual es necesario observar al menos con dos equipos simultáneamente. Se determina la distancia o incremento de coordenadas entre las antenas de los receptores (diferencia de posición entre ellos). La gran ventaja de este método radica en que los errores de posicionamiento muy similares en ambos puntos son eliminados en su mayor parte, según el del receptor se clasifica como estático donde se determina un único trio de coordenadas (Δx , Δy , Δz) si el posicionamiento es diferencial, de una antena a partir de una serie de observaciones realizadas, durante un periodo de tiempo en el que no se sufren desplazamientos superiores a la precisión del sistema, existe redundancia en la observación.

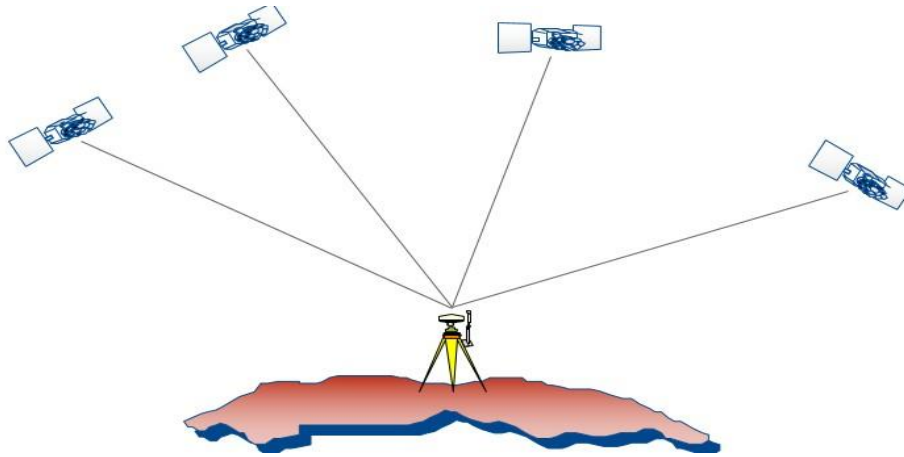


Figura 3. Método de navegación estática. Fuente: propia

2.4.1.2 Método RTK (Real Time Kinematic)

La navegación cinética satelital en tiempo real, es una técnica usada para la topografía y navegación marina basado en el uso de medidas de fase de navegadores con señales GPS, GLONASS y/o de Galileo, donde una sola estación de referencia proporciona correcciones en tiempo real.

En la práctica, los sistemas de RTK utilizan un solo receptor como estación base y un número determinado de unidades móviles. La estación base retransmite la fase del portador que hace mediciones, y las unidades móviles comparan sus propias medidas de fase con las que está recibiendo la estación base. Hay varias maneras de transmitir una señal corregida de la estación base a la estación móvil. La manera más popular de alcanzar una transmisión de señales en tiempo real y de bajo costo es utilizar un módem de radio, típicamente en la banda UHF. En la mayoría de los países, ciertas frecuencias se asignan específicamente para uso de RTK.

Cualquiera sea el tipo de receptor y el método de análisis de datos es importante recordar que las coordenadas calculadas corresponden al centro eléctrico de la antena del receptor, razón por la cual es fundamental medir con precisión la distancia entre esta antena y la marca que materializa el punto trigonométrico.

Hoy en día es muy popular el uso de comunicación GPRS (por vía de internet celular móvil) entre la base y el rover, o bien del rover con respecto a una estación de referencia, que bien puede ser CORS (de operación continua) o VRS (virtual).

Esto permite que las unidades calculen su posición relativa en milímetros, aunque su posición absoluta sea exacta solamente a la misma exactitud que la posición de la estación base. La exactitud nominal típica para estos sistemas de doble frecuencia es de 1 centímetro ± 2 partes por millón (ppm) horizontalmente y 2 centímetros ± 2 ppm verticalmente.

Aunque estos parámetros limitan la utilidad de la técnica RTK en términos de navegación general, se adapta perfectamente para fines topográficos.

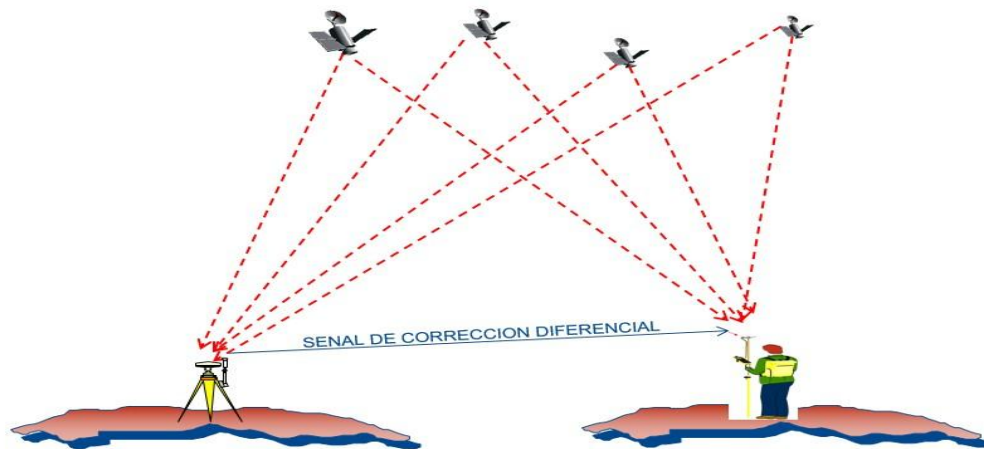


Figura 4. Método de levantamiento RTK. Fuente: Propia

En un levantamiento geodésico convencional se colecta puntos discretos que provienen de una medición como receptores GNSS. En modo RTK los cuales responden a un formato ASCII donde existen delimitadores (.CSV, .TXT) estos puntos incluyen un ID coordenadas 3D y una descripción o código.

La captura de estos puntos responde a la pericia, habilidad o experiencia del topógrafo para representar el terreno, capturando puntos a diferentes equidistancias y dependiendo de si se puede o no ingresar a ciertos lugares (Taludes, crestas y demás zonas inaccesibles) en el mejor de los casos la equidistancia entre punto y punto será de ± 5 mts. El cual no es una representación fiel del terreno existente.

Si hacemos un análisis de un levantamiento topográfico convencional de un Open Pit, nos damos cuenta, que el topógrafo únicamente levanta crestas, toes y puntos de relleno en zonas planas; quedando demasiada información faltante en el talud, puesto que es imposible tomar data ya que es inaccesible.

Con esta información vamos a oficina volcamos los datos en un software especializado, importamos los puntos, generamos una superficie, editamos la triangulación y finalmente obtenemos una malla TIN la cual es la representación gráfica de los puntos colectados en campo. Ya inmersos en el software, este interpolaría los puntos de la cresta con los del toe como si fuera un plano inclinado perfecto, ya que no cuenta con más información para interpolar; pero es claro que los taludes nos son planos inclinados perfectos, generalmente los taludes son muy irregulares.

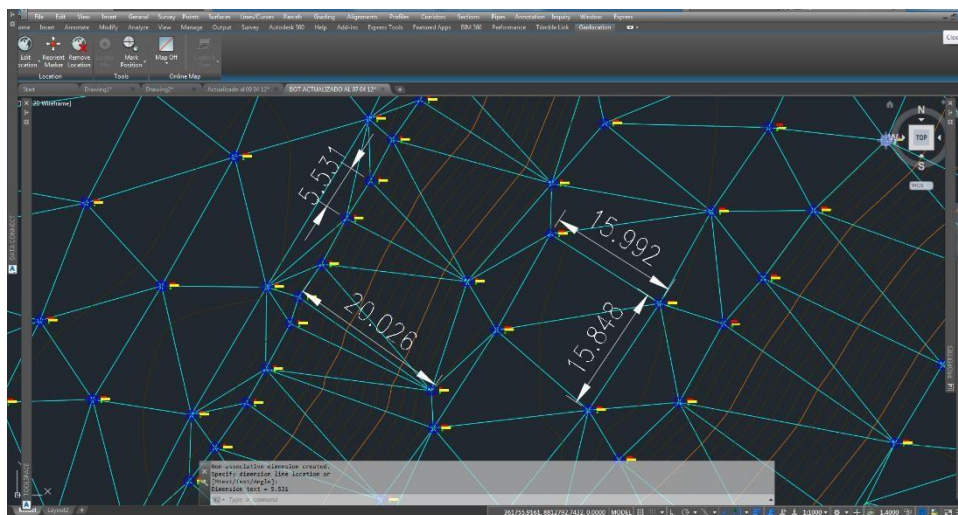


Figura 5. Levantamiento geodésico utilizando receptores GNSS, podemos apreciar poca densidad de puntos y gran equidistancia entre ellos. Fuente: Propia

Actualmente un equipo de topógrafos trabajando de forma manual, utiliza un software y estos a su vez realizan una serie de cálculos matemáticos basados en complejos algoritmos para estimar el volumen, que tiene cada montículo o pila de material. La precisión de estos cálculos tiene errores importantes que en general son asumidos como algo normal.

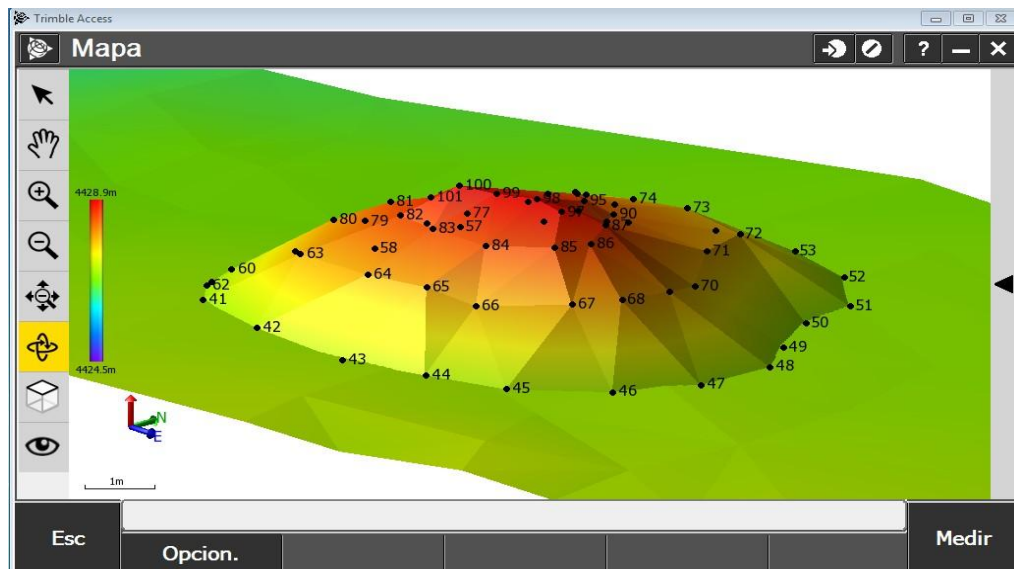


Figura 6. Modelo 3D, a partir de un levantamiento geodésico con GNSS. Fuente: Propia

Aspectos relevantes de un levantamiento geodésico con GNSS

Las ventajas de los trabajos con receptores GNSS aumentan día a día conforme mejoran los instrumentos. Sin embargo podemos citar unas cuantas ventajas frente a los trabajos realizados mediante instrumentos y métodos clásicos.

Las condiciones meteorológicas adversas no son obstáculo para trabajar con GNSS, ya sea niebla, lluvia, clima, polvo o nieve.

No es necesario que el operador tenga que ver el blanco o la estación, según dónde se encuentre: la intervisibilidad entre estación y punto medido no es necesaria.

Una sola persona puede realizar el trabajo. No es necesario que haya una persona en la estación y otra en el punto medido.

La precisión de los trabajos es más homogénea, ya que el error es único en cada punto: no se van acumulando en un itinerario o radiación.

Se puede trabajar sorteando obstáculos sin necesidad de establecer nuevas estaciones o puntos destacados.

No hay que realizar cambios de estación continuamente.

No es necesario realizar comprobaciones continuas cada vez que estacionamos.

Disminuye el número de errores o equivocaciones producidas por la intervención humana.

No puede ser utilizado en obras subterráneas y a cielo cerrado.

Tiene dificultades de uso en zonas urbanas, cerradas, con edificios altos y zonas arboladas y boscosas, debido a las continuas pérdidas de la señal de los satélites. Este problema, no obstante, se está solucionando, y de forma satisfactoria, con el uso combinado de las constelaciones GPS y GLONASS para mantener siempre cinco o más satélites sobre el horizonte.

El desconocimiento del sistema. El sistema de posicionamiento por satélite es una gran herramienta, y de fácil uso, pero ello no lleva consigo eximirse de su conocimiento y del tratamiento de sus observables correctamente, ya que de lo contrario, se pueden obtener resultados poco satisfactorios en precisión y rendimiento.

2.4.2 Levantamiento fotogramétrico con vehículos aéreos no tripulados (UAV)

Se llama levantamiento fotogramétrico, cuando la actividad se hace por medio de fotos tomadas desde el aire ya sea en avión o UAV; toda el área a levantar y luego por medio del software, obtenemos un plano topográfico.

El UAV UX5 de Trimble es una aeronave no tripulada, Es decir controlada por control remoto, donde sigue una ruta programada para volar toda el área de trabajo, está dotada de una potente cámara fotográfica donde captura las imágenes por un intervalo de tiempo ya establecido.

Al realizar la planificación, es necesario recordar todos los factores tanto de trabajo como de vuelo sin olvidar las condiciones de clima. Las fases de un trabajo fotogramétrico son:

La planificación del vuelo

El apoyo Topográfico

La ejecución del vuelo

2.4.3 Flujo de trabajo para un levantamiento fotogramétrico con un UAV

2.4.3.1 En oficina (antes del vuelo)

Identificación de la zona el google earth (en este paso se definirá que modelo de UAV se utilizara y si es viable o no, en función a la escala requerida y a la geomorfología del lugar)

Especificaciones del proyecto

Qué tipo de proyecto es (corredor o área)

Cuál es el marco de referencia horizontal (datum)

Cual es al marco de referencia vertical (datum vertical)

Cuál es el GSD de la ortofoto

Cuál es la precisión horizontal de la ortofoto

Cuáles son los requerimientos del MDS

Cuál es la precisión vertical del MDS

Planificación de la misión

- Crear mapa de fondo y añadir capas opcionales
- Definir zona de la misión y de zonas a evitar
- Definir GSD, la altura y la superposición
- En la oficina o en el campo
- Planificación del vuelo
- Calcular y planificar varios vuelos para una misión

2.4.3.2 En campo (antes del vuelo)

Distribución y georreferenciación de los puntos de apoyo fotogramétrico (GCP)
antes del vuelo

Definir la dirección del viento, la ubicación del despegue, y la ubicación del despegue
y aterrizaje

Monitoreo del vuelo

Supervisar el vuelo

Activar acciones de emergencia

Fin del vuelo

Comprobación de la integridad de los datos

Revisar los eventos, las imágenes y el archivo (Revisa que no falten imágenes)

2.4.3.3 En oficina (después del vuelo – pos proceso)

Software de fotogrametría

Imágenes
Orientación externa
GCP
Parámetros de la cámara

Resultados

Modelo Digital de Superficie MDS
Nubes de Puntos
Curvas de nivel
Orto fotos
Informe sobre de calidad del proyecto

2.4.3.4 Consideraciones previas.

Es importante conocer muy bien el terreno a levantar, también el tipo de clima ya que esto influenciará puntualmente en la precisión del trabajo, sin olvidar la configuración de nuestro instrumento (UAV), es decir la programación de la ruta de vuelo, el intervalo de tiempo para tomar las fotos, la altura de vuelo con respecto al suelo.

2.4.3.4.1 Sistema de referencia.

Existen diferentes tipos de referencias, de acuerdo a la ubicación de un país con respecto al globo terráqueo en nuestro país se usaba antes el PSAT-56.

En la actualidad usamos el Datum WGS 84 (World Geodetic System 1984) con proyección UTM (Universal Transverse Mercator) zona 18S.

Así es en efecto, el gran problema que esto generó, fue la conversión de sistemas que hasta ahora hoy en día no se termina de convertir del PSAT-56 al WGS-84.

2.4.3.4.2 Escala de la fotografía.

La escala de la fotografía va a depender de la escala del dibujo (plano), es decir definiendo el área de terreno (en campo), y la escala del dibujo, podemos definir la resolución que debe tener nuestra cámara digital, ya que la escala de una fotografía aérea (EF) está dada por la siguiente relación:

$$E_F = \frac{1}{m_b} = \frac{f_c}{H}$$

f_c = distancia principal o distancia focal de la cámara.

H = altura de vuelo sobre el terreno.

m_b = Escala de la fotografía.

En caso de que necesitemos un perfil del terreno, donde encontraremos varios valores de escala, entonces tendríamos que usar el EFD (escala de una fotografía digital) que se basa en el tamaño del pixel medido en micrómetros. Su expresión sería la siguiente:

$$E_{FD} = \frac{1}{m_b} = \frac{1}{(GSD \div T_p) \times 10^4} = \frac{T_p}{GSD} \times 10^{-4}$$

T_p = Tamaño del pixel (μm).

GSD = Representación del pixel en el terreno (cm).

m_b = Escala de la fotografía.

Ya que la altura altimétrica es con respecto al nivel medio del mar, para obtener la altura del vuelo tendríamos que usar la siguiente ecuación:

$$E_F = \frac{1}{m_b} = \frac{f_c}{H_0 - h}$$

H_0 = altura del plano de referencia o nivel del mar.

h = altura del objeto o elemento.

$H = H_0 - h$

2.4.3.5 Planificación de la misión.

En oficina y en campo se define la zona de la misión, posteriormente el software calcula el tiempo total de vuelo necesario para cubrir la zona de la misión. En este paso de debe tomar en cuenta ciertos parámetros de corrección, como: traslape lateral, traslape frontal, altura de vuelo, resolución de la imagen, y configuraciones de la cámara.

2.4.3.6 Planificación del vuelo.

La planificación de un vuelo se hace en función a las exigencias de escala, finalidad del trabajo y de acuerdo al equipo disponible para tal fin, ya sea un UAV de ala fija o un multirrotor.

El programa calcula el tiempo de vuelo necesario para sobrevolar toda el área de trabajo, a través de sencillas relaciones geométricas se realiza el cálculo de los elementos que conforman el plan de vuelo.

Cantidad de líneas de vuelo (Pasadas) y el número de fotografías que se requieren en cada uno de estas.

Porcentaje de recubrimiento lateral y transversal.

Distancias entre el centro de las fotos.

Resolución de las imágenes y o altura de vuelo del UAV.

2.4.3.6.1 Consideraciones del plan de vuelo y las variaciones en altura.

Hay varias formas de realizar un plan de vuelo y va depender a las variaciones de altura según el relieve del terreno.

Vemos en la figura (a), en un terreno inclinado a una altura constante, en este caso tendríamos que variar en todo monto la distancia vertical para no alterar la topografía.

En la figura (b), lo que hacemos es hacer varios vuelos a diferentes alturas para no distorsionar el relieve.

Y en la figura (c), vemos lo que debería ser lo óptimo, una altura constante de acuerdo a la inclinación del terreno.

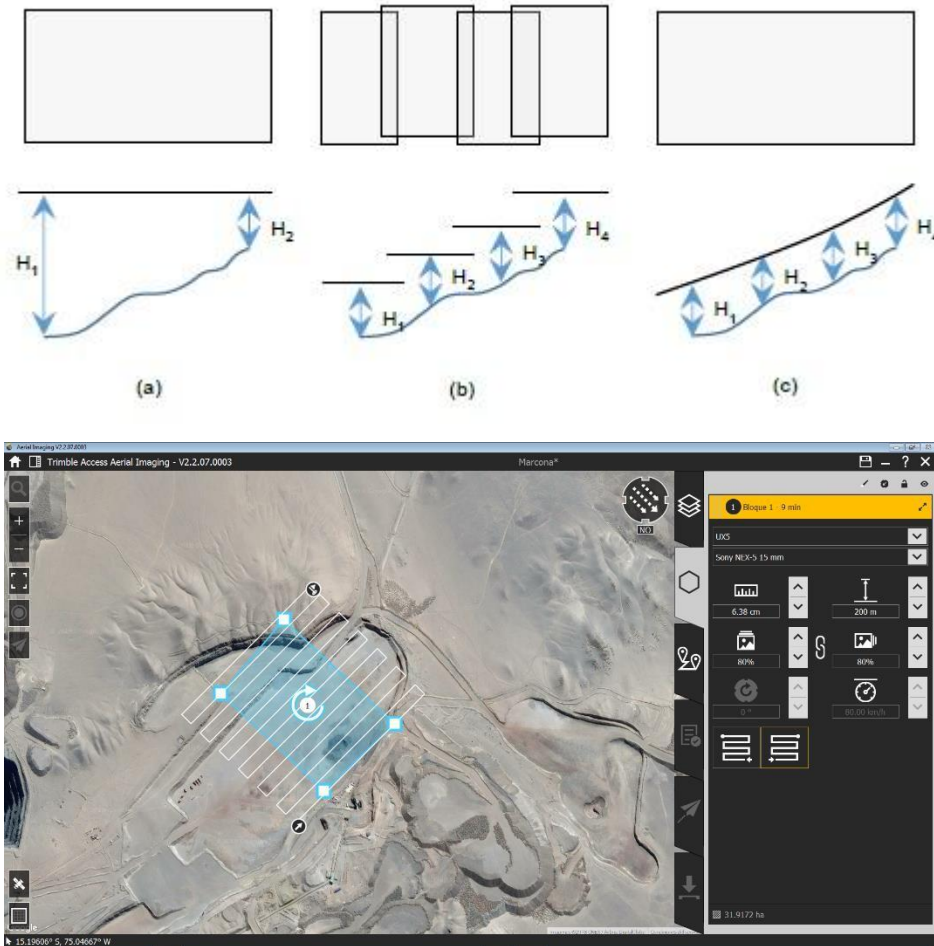


Figura 9. Planificación de vuelo. Fuente: Propia

2.4.3.7 Puntos de apoyo fotogramétrico (GCP)

Los puntos de control o (GCP) son marcas foto identificables pre establecidos antes del vuelo, y distribuidos estragadamente, tomando como base el punto de control de orden, utilizando receptores GNSS diferenciales de doble frecuencia, usando la técnica de Levantamiento Cinemático en Tiempo Real.

En esta técnica el equipo de trabajo mínimo es de dos receptores GNSS (Fijo y Móvil), dos

Radio Modem (Transmisor y Receptor) y una controladora con software capaz de procesar datos. El receptor Fijo se coloca sobre el punto de orden "C", a través de un radio modem transmitirá los datos de corrección (código y fase) al receptor incorporado en el equipo móvil, que a su vez almacenará en la controladora. La ventaja de esta técnica es la precisión vertical 20mm + 1ppm.

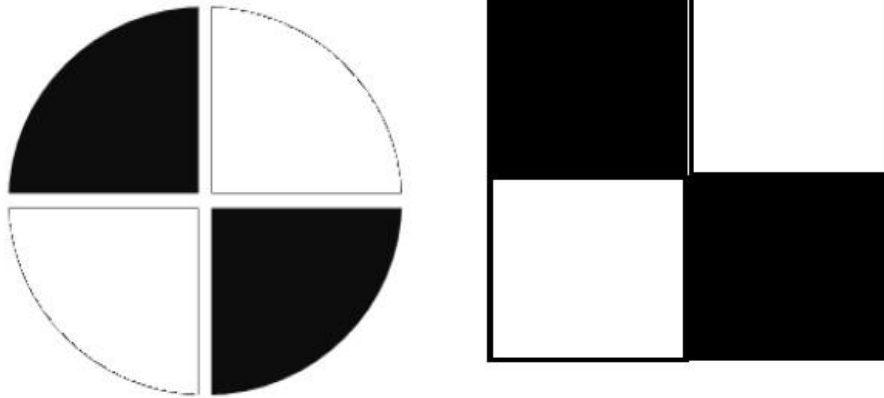


Figura 10. Tipos de marca utilizadas como GCP. Fuente: Propia

2.4.3.8 Ubicación de los puntos de apoyo fotogramétrico (GCP).

La ubicación de los puntos de apoyo es importante porque de ella va a depender que tan bien está georreferenciado nuestro dibujo, cada punto de apoyo deberían salir en por lo menos cada cinco fotos, solo así podemos garantizar que nuestro dibujo está bien orientado.

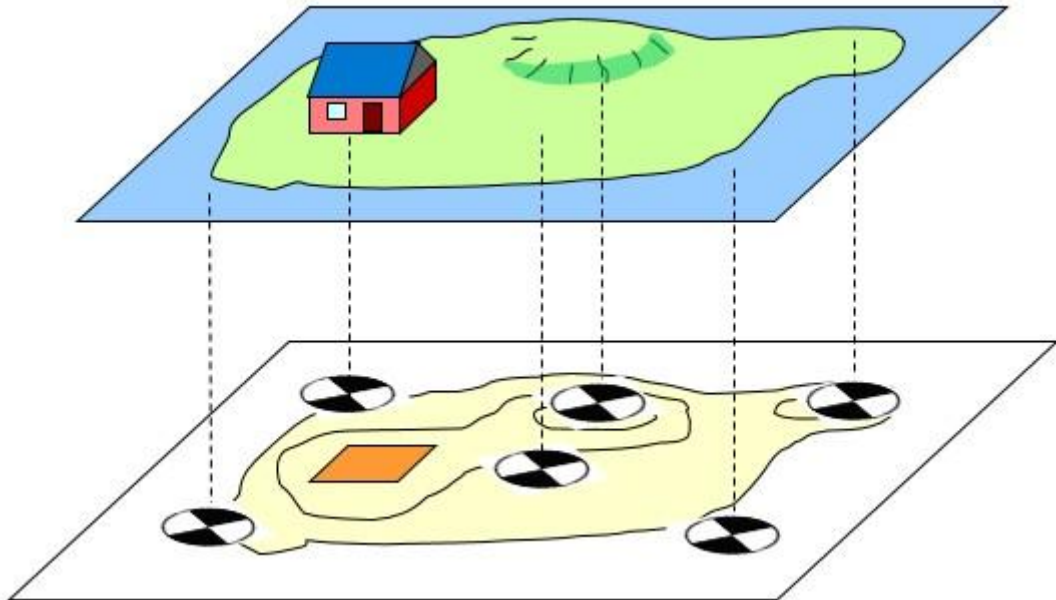


Figura 11. Distribución de los GCP. Fuente: Propia

2.4.3.9 Colocación de los puntos de apoyo fotogramétrico (GCP)

Después de que se ha terminado con la monumentación de los puntos de control se procede a darles coordenada con un gps diferencial, en x,y,z, esto sin duda nos servirá en el momento de procesamiento de datos, donde les colocaremos las coordenadas de cada punto obtenido en campo



Figura 12. Punto de apoyo fotogramétrico GCP. Fuente: Propia

2.4.3.10 Cámara fotográfica métrica.

La exigencia de disponer de geo información actualizada, en el momento preciso y a costes razonables supone la utilización de cámaras digitales métricas la cual redundará en un aumento demostrable de calidad radiométrica debido a la mejor relación señal/ruido y a los 24 bits de resolución radiométrica por cada píxel.

Al mismo tiempo, se consigue un notable ahorro de tiempo y dinero gracias a la eliminación de las fases de revelado y el escaneado de la película, y al aumento de las horas de vuelo por día y de los días útiles de vuelo por año.

Esta cámara está programada para tomar fotos en pleno vuelo, en tal sentido está dotada de 24.1 megapíxeles para que sus fotos sean más nítidas. Es ideal para aplicaciones especializadas tales como la agricultura.

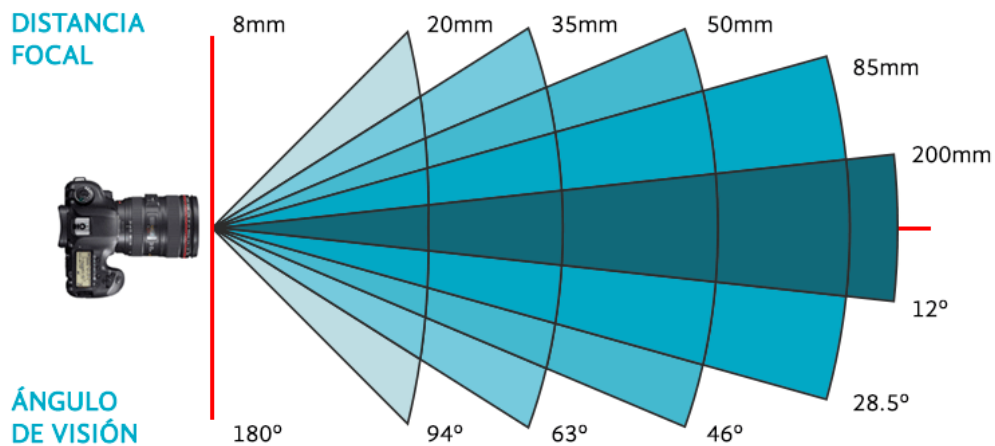


Figura 13. Relación entre distancia focal y ángulo de visión. Fuente: www.trimble.com

2.4.3.10.1 Imágenes .RAW

El formato de imágenes raw (entiéndase como "formato de imagen sin modificaciones") es un formato de archivo digital de imágenes que contiene la totalidad de los datos de la imagen tal y como ha sido captada por el sensor digital de la cámara fotográfica.

Debido a que contiene la totalidad de los datos de la imagen captada por la cámara y una mayor profundidad de color (por lo general 36 a 48 bits/píxel), sus ficheros tienen un tamaño de archivo muy grande, a pesar de que, generalmente, usan compresión.

Las cámaras profesionales y semiprofesionales ofrecen por lo general la opción de grabar imágenes en este formato, además del formato JPG y eventualmente otros. También algunas cámaras compactas de gama alta ofrecen esta posibilidad.

2.4.3.10.2 Imagen .DNG

Se trata de un formato estándar, cada vez más aceptado, para almacenar los archivos RAW de cada cámara digital. Como sabemos, cada fabricante opta por un formato RAW propio y esto genera múltiples caminos, cerrados, y con garantías de futuro tan impredecibles y cambiantes como el mercado tecnológico actual. Cada formato RAW es propiedad de su marca, por lo que se hacía necesaria la existencia de un formato abierto, que fuese adoptado por la mayoría y así, lograr un estándar para todos y que facilite la transferencia, intercambio y almacenamiento de archivos fotográficos.

2.4.3.10.3 Imagen .JPG

También denominada JPEG (Joint Photographic Experts Group), Grupo Conjunto de expertos en Fotografía, es el nombre de un comité de expertos que creó un estándar de compresión y codificación de archivos e imágenes fija. Este comité fue integrado desde sus inicios por la fusión de varias agrupaciones en un intento de compartir y desarrollar su experiencia en la digitalización de imágenes. La ISO, tres años antes (abril de 1983), había iniciado sus investigaciones en el área.

Además de ser un método de compresión, es a menudo considerado como un formato de archivo. JPEG/Exif es el formato de imagen más común, utilizado por las cámaras fotográficas digitales y otros dispositivos de captura de imagen, junto con JPG/JFIF, que también es otro formato para el almacenamiento y la transmisión de imágenes fotográficas en la World Wide Web. Estas variaciones de formatos a menudo no se distinguen, y se llaman —JPEGII. Los archivos de este tipo se suelen nombrar con la extensión .jpg.

Este es uno de los formatos más utilizados, ya sea por la información que lleva consigo como también por la facilidad para manipular e interactuar al momento de post procesar; las imágenes .jpg no son tan pesadas, y pueden ser reconocidas por la mayoría software fotogramétricos.

En adelante en la presente investigación trabajaremos con este formato de imágenes.

2.4.3.11 Trabajos de campo.

Una aeronave no tripulada sigue una trayectoria pre programada. Una vez seleccionada el área a sobre volar con el UAV se procede a distribuir en campo los puntos de control terrestre (GCP) Los cueles serán levantados en modo tiempo real con un GPS diferencial. Esta labor previa a los vuelos se deberá ejecutar con antelación.



Figura 14. UAV UX5 – TRIMBLE en la misión de vuelo. Fuente: www.trimble.com

2.4.3.12 Comprobación del clima.

Para buscar éstos datos, solo tendríamos que consultar algunos sitios web o también comunicándonos con el servicio meteorológico nacional.

Se debe volar a una altura no mayor a los 500 metros sobre el nivel medio del mar, para que no se vea afectado tanto el equipo como su batería.

2.4.3.13 Límites operativos.

Condiciones climáticas en las cuales el UX5 podrá sobrevolar en forma segura.

Tabla 1
Limites operativos del UAV UX5-Trimble

Condición	Rango aceptable
Tiempo	Entre el amanecer y atardecer
Distancia respecto a las nubes	Sin nubes y siempre dentro de la línea de visión. 5000 m
Visibilidad el vuelo	Línea de visión visual
Visibilidad operador – UAV	Lluvia ligera es aceptable, evite granizo, nieve y lluvia intensa
Limitaciones climáticas	

Nota. Cancele el vuelo si observa cualquier condición mostrado en la tabla.

2.4.3.14 Control de vuelo.

Después de lanzar el UAV Aerial Imaging Rover (Software de planificación y monitoreo durante el vuelo), El control de la nave se hace desde tierra solo para el despegue y aterrizaje ya que durante el vuelo la nave sigue su curso ya programado.

Precaución – Tener muy en cuenta el terreno donde despegue y aterriza la aeronave que tienen que estar no solamente despejados sino cumplir con las condiciones climáticas, aquí algunas consideraciones básicas:

Visualización constante a la nave.

No debe haber otros objetos en la ruta de vuelo como torres de electrificación, otras naves, etc.

Tener una distancia libre con respecto a los demás objetos.

Tener en cuenta los cambios climáticos.

Tener el control absoluto de la nave, desde una Tablet.

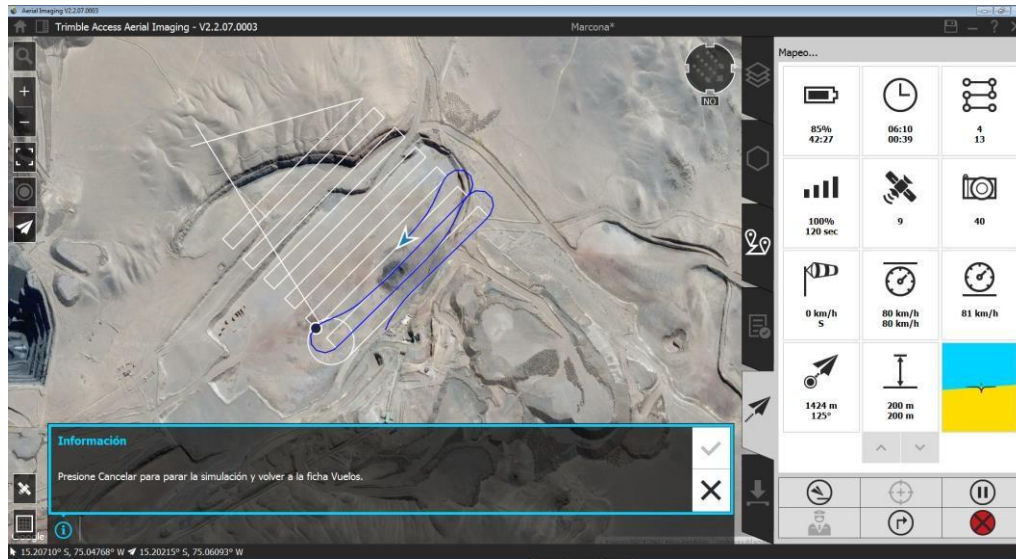


Figura 15. Monitoreo del UAV durante el Vuelo. Fuente: Propia

2.4.3.15 Especificaciones Técnicas del UAV Trimble UX5

Peso: 2.5 kg

Material EPP Espuma de poli propileo y fibra de carbono

Lanzamiento: Catapulta

Velocidad Crucero: 80 km/h

Autonomía: 50 min

Altura de Vuelo (AGL): 75-750 m

GSD: 2-20 cm

Altitud: 5000 m.s.n.m.

Tipo de Aterrizaje: Belly

Cámara: Sony a5100 (24 MP)

Comunicación: 5km

Propulsión electrónica

Automatizado desde el despegue hasta el aterrizaje



Figura 16. UAV UX5 – TRIMBLE utilizado para la presente investigación. Fuente: www.trimble.com

2.4.3.16 Procesamiento de imágenes.

Es en esta etapa es donde realizaremos los procesamientos fotogramétricos, en la actualidad existen muchos programas (software) donde se procesan los datos obtenidos del terreno por medio de fotos, donde se genera un modelo digital del terreno,

2.4.3.17 Software de fotogrametría

2.4.3.17.1 UASMaster

El software **UASMaster** presenta flujos de trabajo sencillos para los no fotogrametristas y los procesos detallados de expertos en Fotogrametría. Combina procesos guiados muy intuitivos, con herramientas de edición interactivas altamente efectivas e informes de control de calidad rigurosos necesarios para el usuario avanzado. Además, UASMaster es capaz de procesar datos de casi todos los sistemas de RPA y UAV. Funciona tanto con vehículos de ala fija, así como con máquinas de tipo helicóptero. El software demostró ser efectivo también con globos aerostáticos y otros tipos de dispositivos de imagen aéreos no tripulados.

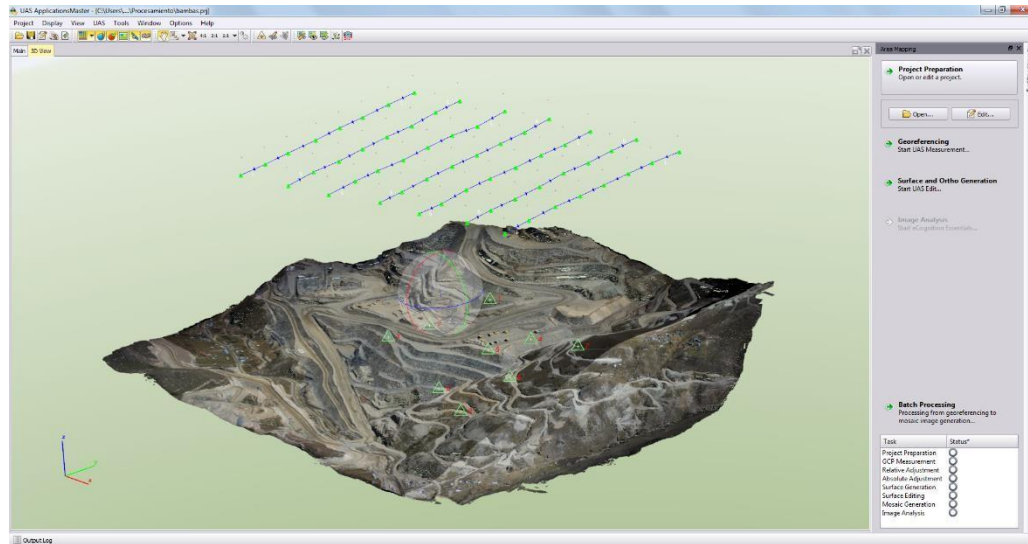


Figura 17. Fotografías aéreas enlazadas a los GCP. Fuente: Propia

2.4.3.17.2 Trimble Business Center (TBC)

Diseñado para el trabajo topográfico de oficina más actual, Trimble Business Center desbloquea el potencial de datos ópticos, GNSS y de imagen.

Trimble Business Center proporciona la capacidad de editar, procesar y ajustar de manera eficiente los datos topográficos con total confianza.

Disponible en dos niveles de productividad (Advanced y Standard), y con un módulo opcional de Fotogrametría, Trimble Business Center ofrece la funcionalidad necesaria para terminar el trabajo más rápido.

La nueva versión 3.60 adelanta las capacidades de las oficinas con nuevas funcionalidades. Permite importar y trabajar con los datos de vuelo y las imágenes recogidas de los RPAS Trimble UX5 HP, Trimble UX5, Trimble X100 e instrumentos ópticos, como la estación total Trimble S9 y demás estaciones de la SERIE S que utilizan tecnología Trimble. Se pueden producir productos finales, como ortofotos, nubes de puntos 3D y modelos digitales de superficie directamente de Trimble Business Center.

2.4.3.17.3 Pix4D mapper

Es un programa potente que transforma las fotos tomadas en campo en modelos digitales del terreno tanto en 2D como en 3D, es uno de los programas más usados.

2.4.3.18 Post procesamiento

Una obtenido el modelo digital del terreno lo podemos exportar a otro programa más conocido y usado en el Perú como el AutoCAD Civil 3D, con este programa terminaríamos de editar nuestro terreno y empezar la siguiente etapa que es el diseño del proyecto que se pretende.

2.4.3.19 Ajuste con puntos de enlace.

El proceso de Aéreo triangulación ajusta las estaciones fotogramétricas, localizando automáticamente los puntos de unión coincidentes de las imágenes superpuestas para corregir sus orientaciones y posiciones relativas.

2.4.3.20 Ajuste con puntos de control.

Este ajuste se hace a la etapa de procesamiento ya que es ahí donde insertaremos las coordenadas obtenidas en campo, mediante los GPS diferenciales en cada punto de control, de esa manera estaremos georreferenciando nuestro dibujo y ajustando el plano en su verdadera posición.

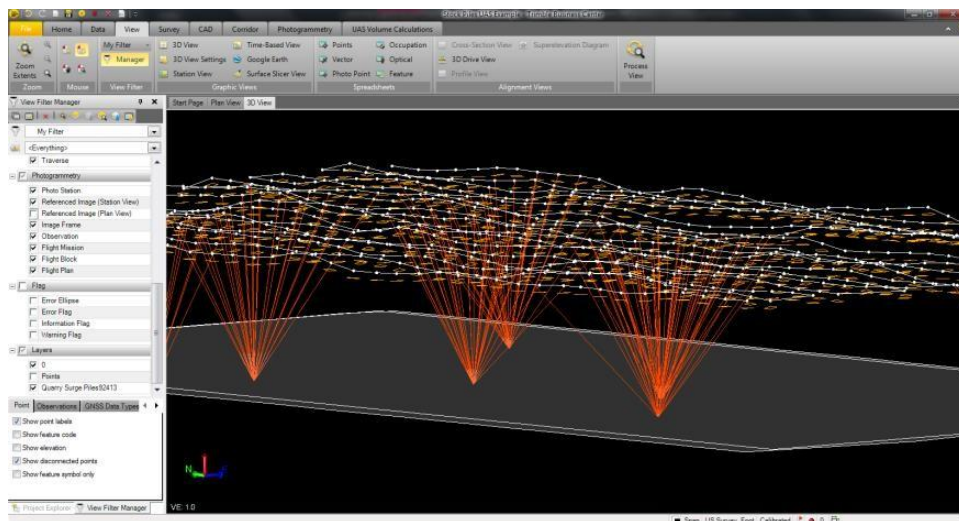


Figura 18. Fotografías aéreas enlazadas a los GCP. Fuente: Propia

2.4.3.21 Resolución de píxel y altura de vuelo.

Cabe recordar que el tamaño de los píxel sea más pequeño, la nitidez será mejor ya que la fotografía estará más detallada, la resolución por defecto de la cámara es de 3.2 cm.

Es necesario mencionar que mientras más alto vuele la nave, la distancia de la nave al suelo será mayor, entonces cada píxel representará mayor terreno, por ello la importancia de los píxel:

Tabla 2
Resolución por píxel

Altura	Resolución por píxel
Mínima 75 m	2.0 cm
100 m	3.2 cm
150 m	4.8 cm
Máxima 750 m	23.9 cm

Nota. Fuente. www.trimble.com

La resolución de los píxel se determinará según la altura de vuelo.

2.4.3.22 Aero triangulación

Dar posición a nuestro dibujo no sería posible sin los puntos de control (con coordenadas conocidas), estos puntos son los que no va a dar la verdadera posición y orientación a nuestro dibujo, éstos puntos son fotografiados conjuntamente con el terreno desde la aeronave para su posterior procesamiento. Esta consistente en dar escala y nivelar el modelo estereoscópico a partir de una serie de puntos de posición conocida.

Se deberá comprobar que la posición de los puntos de apoyo de campo es la más adecuada para el método y los programas de cálculo y ajuste que vayamos a usar en la fase del procesamiento de datos.

El empleo de la Aero triangulación no solo reduce el número de puntos de control necesarios, con respecto al apoyo de campo completo, sino también flexibiliza su distribución, ya que no tenemos la limitación de situar forzosamente el punto de control en la zona común de recubrimiento para varios modelos y pasadas. Y además el diseño de las cadenas de puntos a lo largo del bloque puede ser variado para evitar zonas de dificultad topográfica.

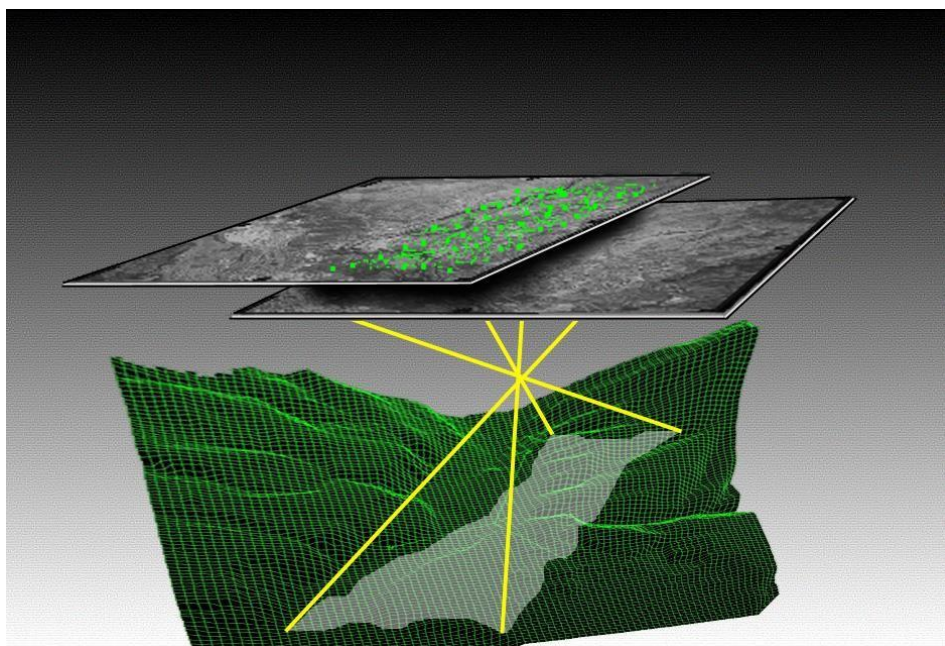


Figura 19. Generación de nube de puntos. Fuente: www.trimble.com

2.4.3.23 Solape frontal y lateral de imágenes

El solape, viene a ser el traslape que debe haber entre fotografías y tienen que ser en términos de porcentaje entre 60 y 90 por ciento, si el traslape está entre este rango, entonces tendremos:

Una precisión óptima

El recorrido de la aeronave será mayor.

Se procesará una mayor cantidad de fotografías.

Se prolongará el tiempo de procesamiento.

El tiempo de vuelo será mayor

Se seleccionará el valor del traslape según la importancia del trabajo a realizar.

En consecuencia, las limitantes de la topografía convencional distan mucho de la topografía obtenida con drones, ya que una nube de puntos es la representación tridimensional cuasi exacta del terreno existente.

Para este proyecto la equidistancia de la nube de puntos es de 0.10cm. Sumando una cantidad de 38 millones de puntos en todo el levantamiento.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Análisis del reporte de calidad

Es un informe detallado de la calidad del proyecto, esta información no es más que un reporte en base a colores que se puede interpretar. Es decir, el color verde indica que los GCPs, fueron usados correctamente, mientras los de color amarillo, es una advertencia donde indica que los GCPs fueron usados con un error menor a dos veces, mientras el color rojo nos indica que los GCPs fueron usados con un error de más de dos veces.



Figura 20. Ortomosaico y el correspondiente Modelo Digital de Superficie (DSM) antes de la densificación
Fuente: Propia

3.2 Solución de problemas detectados en el reporte de calidad

No hay manera de corregir el reporte de calidad en la etapa de procesamiento de datos, la única solución ante este evento es volver a volar y tomar nuevas fotografías, por eso se recalca que para evitar eso es muy importante seguir las recomendaciones en el plan de vuelo, que

es precisamente para obtener una mayor calidad de imágenes y tener como resultado en trabajo de calidad,

3.3 Archivos de salida

3.3.1 Formato .LAS

El formato LAS son modelos digitales del terreno que solo es posible visualizarlos con el uso de software de fotogrametría, los podemos apreciar en imágenes 3D, esto se da mediante una nube de puntos, estos puntos están guardados en ficheros donde se exportan en extensiones leídas solo por programas fotogramétrico.

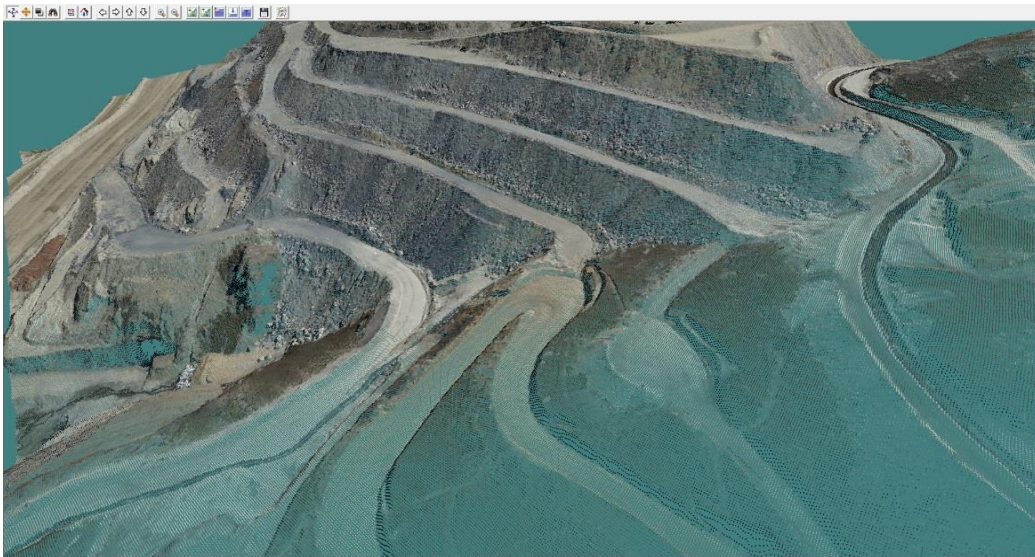


Imagen 21. Nube de puntos de alta densidad. Fuente: Propia

3.3.2 Formato .XML malla 3d texturizada

Es un formato en el cual el modelo digital del terreno lo apreciamos por colores texturizados, a diferencia del formato LAS, es más rápido de verlo pero con pocos detalles, no es muy trabajable, pero de igual manera nos sirve como para ir viendo el terreno, semejante al de campo.

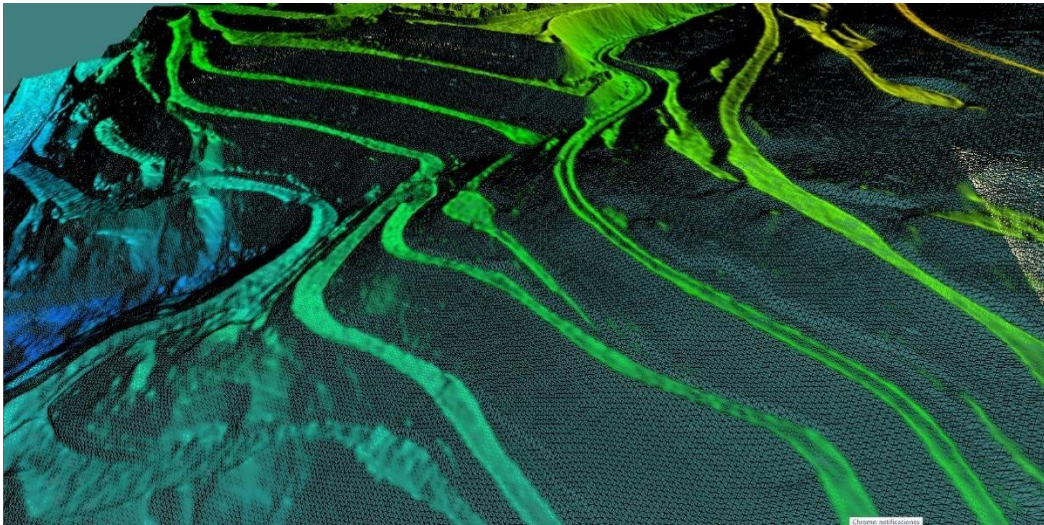


Imagen 22. Modelo Digital de Superficie (DSM) Fuente: Propia

3.3.3 Modelo Digital de Superficie .DSM

Es un formato se puede ir corrigiendo todas las imperfecciones tanto de altura como de referencia, en base a filtros que puede ser manipulados por el dibujante.

Esta superficie puede tener áreas con protuberancias erróneas (cerro), donde el suavizado de superficie los corrige aplanándolos y llegar a lo más parecido que el terreno.

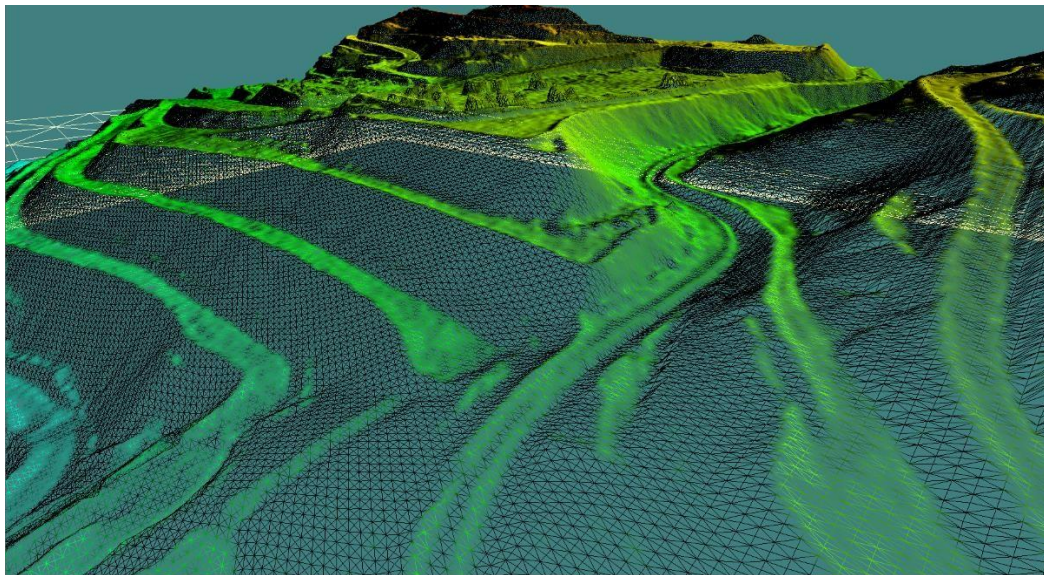


Imagen 23. Malla texturizada o TIN creado a partir de nube de puntos. Fuente: Propia

3.3.4 Curvas de nivel

Una curva de nivel es aquella línea que en un mapa une todos los puntos que tienen igualdad de condiciones, normalmente altitud sobre el nivel del mar o profundidad. Las

curvas de nivel suelen imprimirse en los mapas en color siena para el terreno y en azul para los glaciares y las profundidades marinas.

El interés es generar curvas de nivel del terreno, una vez realizas el vuelo y post procesada la información, se debe hacer una edición de la nube de puntos generada a través de este tipo de software. Para eliminar las construcciones y vegetación, garantizando así que las curvas que se generen a partir de dicha nube de puntos correspondan únicamente al terreno natural. Si se trata de una zona boscosa muy densa, probablemente será imposible generar curvas de nivel que representen el terreno, ya que el piso puede que no se llegue a ver en las fotos del dron, por lo que se debe tener siempre muy presente que existen muchas limitaciones que podrían hacer inviable esta tecnología, y que por el contrario debemos buscar otra tecnología como el lidar o escáner laser.

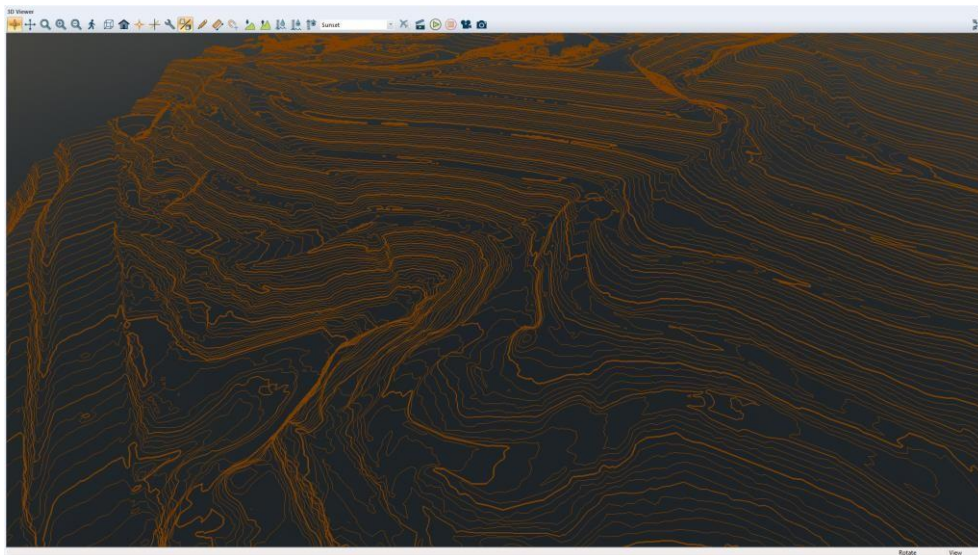


Imagen 24. Curvas de nivel generadas a partir de las nubes de puntos. Fuente: Propia

3.3.5 Geotiff (ráster dsm, ortomosaico)

Este tipo de archivo puede ser abierto por programas más universales como lo GIS, cualquier programa GIS abre este tipo de archivo, donde veremos también una lista de atributos como el tipo de proyección, sistema de coordenadas, elipsoide, datum y todo lo relacionado en un sistema de referencia espacial.



Imagen 25. Ortofoto generada a partir del vuelo con el UAV- UX5. Fuente: Propia

CAPITULO IV DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos son de acuerdo a los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, las soluciones adoptadas, el diseño o propuesta técnica utilizando técnicas tanto en gabinete como en el campo, así como el uso de software especializado, técnicas cartográficas y topográficas, los mismos han sido integrados para obtener finalmente el estudio.

Es una ventaja trabajar con este tipo de levantamiento principalmente por el tiempo en que se ejecuta desde el inicio hasta el final, sencillamente no tiene comparación con respecto al tradicional, estamos convencidos que en un tiempo cercano se harán más comunes estos levantamientos y terminarán de hacerse más baratos.

Levantamiento geodésico frente a levantamiento con UAV

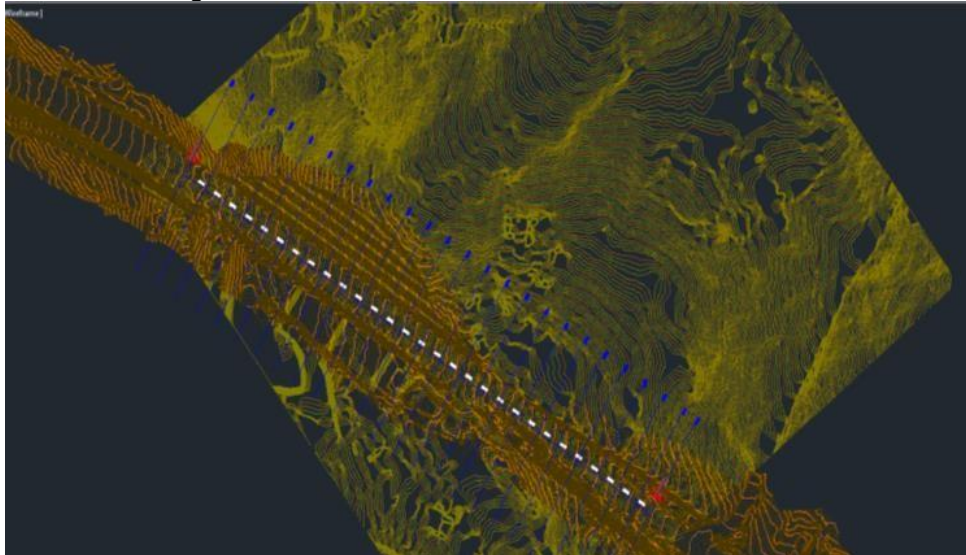


Imagen 26. Curvas de nivel, de color amarillo y forma cuadrada corresponde al levantamiento fotogramétrico UAV y el color café de forma alargada corresponde al levantamiento geodésico. Fuente: Propia

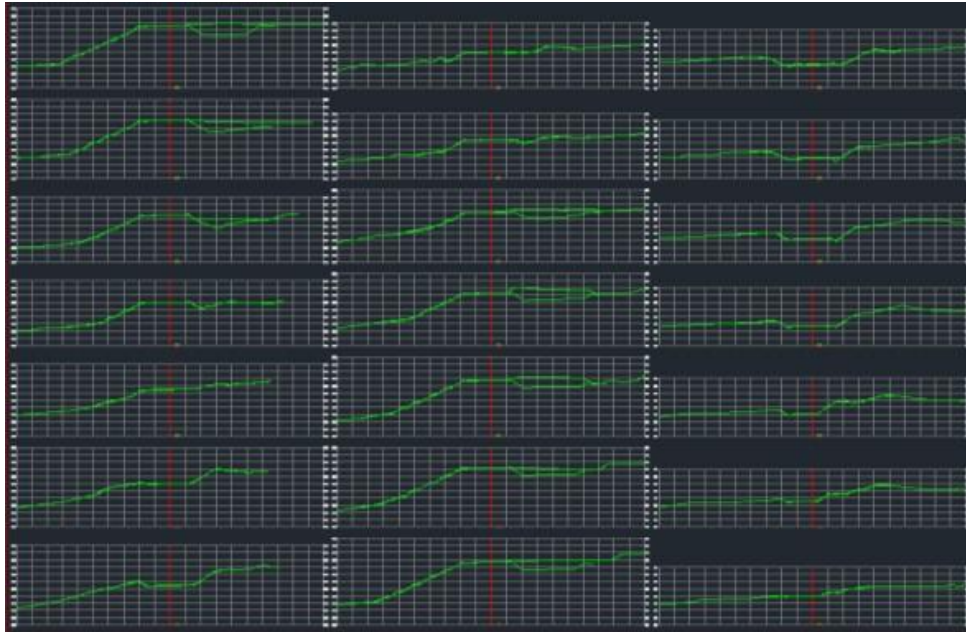


Imagen 27. Secciones transversales, generadas a partir de ambas superficies para analizar las diferencias en altimetría. Fuente: Propia

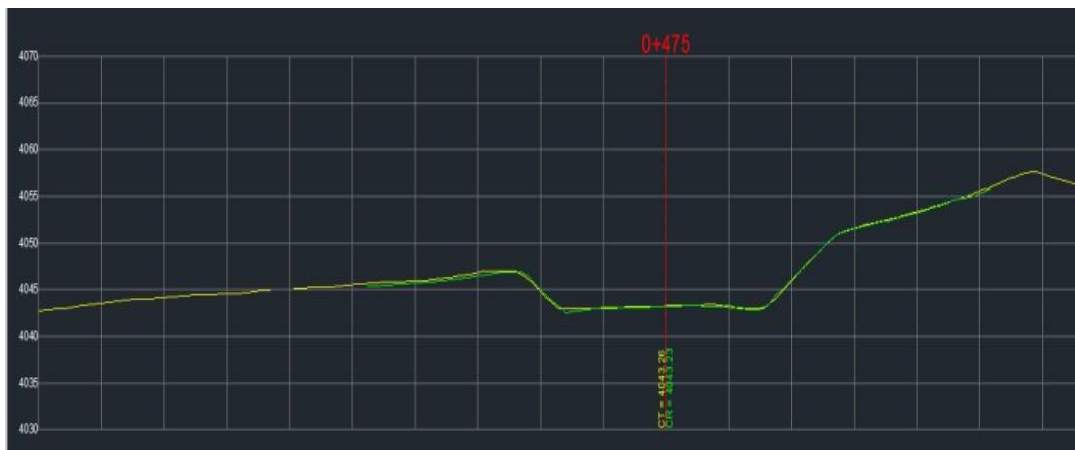


Imagen 28. Acercamiento a una sección transversal, se observa, en color amarillo la superficie generada a partir del levantamiento fotogramétrico, en color verde corresponde al levantamiento geodésico, en las que se observa una diferencia en altimetría de 3cm. Fuente: Propia

Con la utilización de la técnica, levantamiento fotogramétrico con un vehículo aéreo no tripulado UAV. Profesional, en suelos desnudos se obtienen resultados superiores frente al levantamiento geodésico.

Y en terrenos cubiertos por escasa vegetación los resultados son similares en comparación con método de levantamiento con receptores GNSS en tiempo real. Para mayor detalle podemos analizar el siguiente cuadro.

Tabla 3
Rendimiento de un UAV frente a un levantamiento geodésico.

	UAS	GNSS	Comentarios
Área	150 ha	150 ha	
Configuración GCP	de 1 ¼ hr.	-	El control terrestre no se requiere para todas las aplicaciones
Tiempo configuración	de 15 min	15 min (por día)	
Tiempo de trabajo	45 min	30 ½ hr (4 días)	
Tiempo desmontaje	de 15 min	15 min (por día)	
Tiempo procesamiento datos	de 4 hrs (2.80 GHz Intel Core i7, 16GB RAM)	32 hr 30 min	Los datos pueden ser procesado durante la noche.
Tiempo Total	6 hr 30 min 16 GB RAM) +-2cm	32hr 30min	5 veces más eficiente que un GNSS
Precision horizontal	+4cm	+2cm	
Precision vertical		+2cm	

CONCLUSIONES

Con un UAV, puedes conseguir millones de puntos del terreno sin adicionar mayor tiempo, muy por el contrario con el método tradicional donde apenas puedes conseguir mil puntos diarios y eso si es que la topografía es accesible.

Los costos de estos equipos modernos, con esos sensores capturando esa cantidad de puntos hace suponer que el trabajo deberá ser más caro. Pero en la práctica, la reducción de tiempos y gastos de movilización que implica la topografía convencional, el costo final resulta siendo un 60% más bajo que con topografía convencional.

Puede concluirse que la topografía con drones reemplaza significativamente a la topografía tradicional con todas las ventajas de costo, calidad de producto y tiempo, el trabajo con dronero genera resultados con casi las mismas precisiones de la topografía convencional.

RECOMENDACIONES

Se recomienda antes de realizar un levantamiento topográfico con Drone, tener en cuenta las siguientes observaciones:

Informarse si en el área a trabajar se necesitará algún permiso para sobrevolar la zona de trabajo.

Conocer el aspecto legal para operar la aeronave de forma segura.

Conocer las normas y los estándares existentes con la Autoridad de Aviación Civil (CAA, por sus siglas en inglés) local.

Asegúrese de que el propietario cuente con todos sus papeles en regla.

Para volar un UAV es necesario obtener permiso y además contar con una acreditación emitida por el MTC. NTC: 001-2015 Operaciones RPAS

REFERENCIAS

Arun, K., Anushka, S., Ankush, A., & Dharmendra, S. (2017). Vision based rail track extraction and monitoring through drone imagery. *KICS*, 6.

Cheli, A. (2011). *Introducción a la Fotogrametría y su Evolución*. La Plata: Hesperides.

IGN. (2015). Generación de información geoespacial a partir de Vehículos Aéreos no Tripulados. *El Geografo*, 18-23.

NTC 001-2015, D. (03 de Noviembre de 2015). Norma Técnica Complementaria. *NTC Operaciones RPAS*. Lima, Lima, Peru.

Quiroz, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. Badajoz: Universidad de Extremadura.

Sanches, J. A. (2007). *Introducción a la fotogrametría*. *I.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos*, 58.

Sobrino, J. (2000). *Teledetección*. Valencia: Servicio de publicaciones, Universidad de Valencia.

Tony, S. (2002). *Fotogrametría digital*. Catalunya: Marcombo, 2002.

ANEXOS

ANEXO N° 1. Matriz de consistencia (con una variable)

Ventajas en los Levantamientos Topográficos Mediante el uso de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV)					
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	MUESTRA	DISEÑO
<p>Pregunta general:</p> <p>¿Cuál es la ventaja de realizar un levantamiento topográfico realizado por un vehículo aéreo no tripulado?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Determinar los procedimientos para un levantamiento topográfico y procesamiento hasta llegar a la obtención de mapas y modelos digitales del terreno, realizado mediante fotogrametría aérea utilizando un vehículo aéreo no tripulado.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>La aplicación de vehículos aéreos no tripulados y software de proceso, para realizar un levantamiento topográfico, incrementa significativamente el rendimiento y precisión, en comparación de un levantamiento topográfico utilizando el método convencional GNSS.</p>	<p>Variable :</p> <p>levantamientos Fotogramétricos utilizando vehículos aéreos no tripulados</p>	<p>Población:</p> <p>La superficie medida con el UAV es de aproximadamente 50 ha. Y tomo 14 minutos de vuelo,</p> <p>muestra.</p> <p>Diseño:</p> <p>La superficie medida con el equipo GNSS es de unas 30 ha. Demando de 2 días para culminar el trabajo.</p>	<p>Método:</p> <p>Observación</p> <p>Instrumento:</p> <p>Matriz de análisis</p> <p>Nivel investigacion:</p> <p>Explicativo</p> <p>La investigac planteada correspon al tipo explicati siendo en este ca una no experimen Esta investigac esencialmente trab con dos muestras y comparan entre sí.</p>
<p>Preguntas específicas:</p> <p>P1: ¿Cómo ha evolucionado la topografía con la llegada de los vehículos aéreos no tripulados?</p> <p>P 2: ¿Qué factores se deben considerar antes de realizar un levantamiento topográfico?</p> <p>P3: ¿Cuál de las dos técnicas de levantamiento topográfico es más eficiente y si esta eficiencia se traduce en tiempo y precisión?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>OE1: Identificar los pasos y lineamientos necesarios para un levantamiento topográfico a lo largo de su historia, teniendo en cuenta las limitaciones y dificultades de cada época.</p> <p>OE 2: Durante el tiempo de evolución de la topografía, podemos decir, que también los factores a tener en cuenta en un levantamiento topográfico han ido cambiando según la tecnología de su tiempo, sin embargo nos enfocaremos en la actualidad para determinar sus elementos.</p> <p>OE 3: Comparar los resultados obtenidos a partir de las dos técnicas de recolección de datos en campo (levantamiento convencional y levantamientos con drones), teniendo en cuenta la precisión y tiempo.</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>HE 1: La gran idea del GPS (Global Positioning System), contribuyó de gran manera para que la topografía sea cada vez más digitalizada, ahorrando tiempo y dinero.</p> <p>HE 2: Uno de los principales factores para realizar un levantamiento topográfico, es el terreno; conocer el terreno es determinante tanto para optimizar tiempo como para aumentar la precisión. Otros factores a considerar son: el clima. la accesibilidad y el presupuesto.</p> <p>HE 3: La elección de un adecuado vehículo aéreo no tripulado, significará eficiencia, precisión y seguridad en nuestros levantamientos topográficos.</p>			