

Comparación de los procesos de trabajo y la generación de nubes de puntos del TLS Trimble SX10 y el dron senseFly eBee Plus

Armin Weber y Thomas Lerch
Lerch Weber AG, Suiza

Palabras clave: escáner láser terrestre, Trimble SX10, vehículo aéreo no tripulado, senseFly eBee Plus, gravera, cálculo de volumen

RESUMEN

Con el fin de comparar dos de los instrumentos topográficos más avanzados de la actualidad, medimos una gravera de cuatro hectáreas empleando la estación total de escaneo SX10 de Trimble y el VANT de fotogrametría eBee Plus RTK/PPK de senseFly.

Una gravera o foso de grava es un emplazamiento típico de medición en el que la nube de puntos es el resultado más importante, ya que se utiliza para los cálculos de volumen, la medición de pendientes, la detección de crestas y bases, la generación de líneas de contorno y otras aplicaciones. La gravera escogida resultaba interesante debido a la profundidad de su fondo (aprox. 40 m) y el hecho de contar con secciones horizontales, verticales e incluso voladizas.

Se generaron en total cinco nubes de puntos individuales: cuatro nubes de puntos del VANT (obtenidas en dos vuelos del VANT realizados a diferentes alturas sobre el nivel de suelo) y una nube de puntos del escáner láser obtenida mediante la unificación de puntos de cinco disposiciones distintas de la estación.

Respecto a la cuestión de si un vuelo en modo RTK/PPK únicamente podría conseguir la misma precisión absoluta que un vuelo ligado a puntos de control terrestre (ground control points, GCP en inglés), se demostró que sí es posible. El desplazamiento medio de las nubes de puntos correspondientes a los vuelos que empleaban GCP fue unos pocos centímetros mejor que el del vuelo realizado con RTK a bordo, sin GCP. La desviación estándar fue la misma en todos los procesamientos de datos del VANT. Esto significa que todos los tipos de procesamiento ofrecen una precisión constante durante todo el desarrollo del proyecto. Para asegurarse de la fiabilidad del resultado, en especial verticalmente, consideramos muy recomendable utilizar al menos un GCP.

1. Introducción

A fin de comparar dos de los instrumentos topográficos más avanzados de la actualidad, medimos una gravera de cuatro hectáreas empleando la estación total de escaneo SX10 de Trimble y el VANT de fotogrametría eBee Plus RTK/PPK de senseFly.

Hemos comparado estos instrumentos –ambos propiedad de la empresa– considerando lo siguiente:

- Tiempo de preparación en oficina
- Tiempo de recolección de datos sobre el terreno
- Tiempo de procesamiento de datos
- Calidad de la nube de puntos generada

Además, el sistema senseFly se voló a dos alturas de vuelo diferentes para generar cuatro nubes de puntos VANT distintas, ya que nuestro objetivo secundario era comparar estas nubes para determinar el proceso de trabajo óptimo del VANT en este tipo de mediciones.

Por último, como parte de esta comparativa también hemos tenido en cuenta:

- Qué datos de salida visuales, de haber alguno, se generaron con cada instrumento
- Qué riesgos podría implicar, para el operador, el uso in situ de cada instrumento
- El precio relativo de cada instrumento

Naturalmente, la comparación directa de estas metodologías de recolección mediante un proyecto único independiente no puede responder definitivamente a la pregunta de si una de dichas tecnologías es la ideal para cualquiera que realice mediciones. La elección dependerá básicamente de si es necesario recurrir a un profesional concreto de topografía y del tipo de proyecto en cuestión. Además estará sujeta a la naturaleza evolutiva de las propias tecnologías. No obstante, confiamos en que este tipo de comparación puede servir para subrayar los puntos fuertes y débiles relativos de estos productos y de las nubes de puntos producidas. Es con este objetivo general en mente que este proyecto se llevó a cabo.

2. Metodología

2.1 Emplazamiento para la medición topográfica y tecnologías

La localización del proyecto se estableció en una gravera de cuatro hectáreas situada en la región de Olten, en el noroeste de Suiza (Figura 1). Se optó por una gravera porque es un emplazamiento típico de medición en el que la nube de puntos es el resultado más importante, ya que se utiliza para los cálculos de volumen, la medición de pendientes, la detección de crestas y bases, la generación de líneas de contorno y otras aplicaciones. Esta gravera en concreto resultaba interesante debido a la profundidad de su fondo (aprox. 40 m) y debido al hecho de contar con secciones horizontales, verticales e incluso voladizas.



Figura 1: El emplazamiento del proyecto, una gravera de cuatro hectáreas en Losforf, cerca de Olten, Suiza

La tecnología de escáner láser empleada fue la estación total robotizada de escaneo SX10 de Trimble (Figura 2), mientras que el VANT (dron/sistema aéreo no tripulado) empleado fue el eBee Plus de senseFly. Este VANT tenía habilitada su función incorporada RTK/PPK (Figura 2) y estaba equipado con una cámara RGB S.O.D.A de senseFly.



Figura 2: el VANT eBee Plus de senseFly (izquierda) junto al controlador manual SX10 de Trimble (centro) y la estación total de escaneo SX10 con maletín de transporte (derecha).

2.2 Descripción general de las nubes de puntos

Se generaron en total cinco nubes de puntos individuales: cuatro nubes de puntos del VANT (obtenidas en dos vuelos del VANT realizados a diferentes alturas sobre el nivel de suelo) y una nube de puntos del escáner láser obtenida mediante la unificación de puntos de cinco disposiciones distintas de la estación.

Estas nubes de puntos se compararon en cuanto a:

- Flujo del trabajo de recolección de datos sobre el terreno (tiempo invertido y complejidad relativa)
- Tiempo de procesamiento de datos en oficina
- Precisión posicional, densidad y calidad

2.3 Área de estudio y disposición de puntos de control

Las mediciones para el proyecto fueron realizadas por cuatro empleados de Lerch Weber AG, con la asistencia in situ de un ingeniero de senseFly.

Para georreferenciar el escáner láser y evaluar la precisión de los vuelos del VANT se establecieron nueve puntos de control terrestre (ground control points, GCP en inglés) que se utilizaron eficazmente como puestos de control. Estos GCP se midieron empleando un receptor GNSS Trimble R10 y se distribuyeron uniformemente por toda el área de estudio (Figura 3). Los GCP se marcaron sobre el terreno con placas de plástico amarillo cuadradas de 50 cm de ancho. Se optó por ellas dada su alta visibilidad, garantizando así que más adelante podrían ser identificadas correctamente y quedar marcadas en las imágenes digitales del VANT.



Figura 3: Uno de los nueve puntos de control terrestre del proyecto (izquierda) y un boceto preliminar en el que se muestran las posibles estaciones de escaneo (derecha).

La colocación de los nueve GCP –utilizados para ambas mediciones– requirió aproximadamente 1,5 horas. Los GCP y las nubes de puntos obtenidas con el escáner láser se midieron en el sistema nacional suizo de coordenadas CH1903+/LV95 y el sistema nacional

de nivelación LN02. El vuelo del eBee Plus se llevó a cabo en el sistema de coordenadas WGS84 y, a continuación, estas se transformaron al sistema nacional suizo de coordenadas utilizando el software de fotogrametría Agisoft PhotoScan (empleado también para procesar las imágenes del dron).

2.4 Preparación de vuelos del VANT

La planificación de los vuelos del VANT se realizó de antemano en la oficina utilizando el software eMotion 3 suministrado con el eBee Plus: se cargó un mapa de fondo senseFly Satellite con eMotion y, a continuación, se dibujó un polígono alrededor del emplazamiento a medir, dejando unos pocos metros de cobertura adicional en el exterior del perímetro de medición de la gravera.

Una vez decididas las trayectorias de vuelo, se configuraron dos parámetros esenciales para el vuelo: la distancia de muestreo terrestre requerida (ground sampling distance, GSD en inglés), en cm por píxel, y la superposición de imágenes requerida, lateral y longitudinal. La altura de vuelo del VANT, calculada automáticamente, es de este modo un resultado directo de la GSD especificada en eMotion. Decidimos volar el VANT dos veces, a dos alturas diferentes, con el fin de evaluar la influencia de la resolución del terreno sobre la calidad de las nubes de puntos producidas.

En cuanto a la superposición de imágenes, los ajustes especificados (Tabla 1) se eligieron con el fin de generar imágenes bien reconstruidas y coincidentes en el proceso de fotogrametría. Para lograr el nivel de superposición requerido, el vuelo con mayor GSD –el más bajo de los dos vuelos: vuelo n.º 1– se realizó utilizando líneas de vuelo estándar y perpendiculares, mientras que el vuelo n.º 2, más breve y con menos resolución, utilizó un único conjunto estándar de líneas de vuelo.

	Vuelo n.º 1	Vuelo n.º 2
Altura del vuelo sobre el terreno [m]	100	150
Resolución del terreno [cm]	2,5	3,6
Superposición (lateral/longitudinal)	60/50 y retícula	85/70
Número de imágenes	180	173
Tiempo de vuelo [min]	14	13

Tabla 1: Comparación de los dos vuelos del VANT del proyecto.

Para mejorar la precisión de geotiquetado de sus imágenes, el eBee Plus es capaz de recibir correcciones RTK. En nuestro caso utilizamos una transmisión de correcciones VRS RTK de swisstopo. Para ello fue necesaria la suscripción al servicio swisstopo y disponer de conexión a la red en el campo (facilitada a través de la conexión a internet del ordenador portátil en el que se ejecutaba eMotion).

Para disponer de precisión RTK en todas las imágenes del VANT, debe mantenerse en todo momento el enlace de radio entre el VANT y la estación terrestre. En caso de que se perdiera

el contacto por radio o la conexión a internet del ordenador portátil, quedaría no obstante la posibilidad de aplicar correcciones al vuelo a través de la funcionalidad PPK del dron. A fin de cuentas, esto no fue necesario.

Una vez en el emplazamiento, se eligió una ubicación tanto para los lanzamientos como para los aterrizajes: una llanura con hierba próxima a la gravera (Figura 4).



Figura 4: lanzamiento del eBee Plus.

La preparación de cada vuelo del VANT requirió aproximadamente 15 minutos en la oficina y otros 5 o 10 minutos más en el terreno: para conectar las alas, insertar la batería y la cámara del VANT, efectuar las comprobaciones previas al vuelo y cargar de forma inalámbrica el plan de vuelo en el dron a través de su módem de radio USB (conectado al ordenador portátil en el que se ejecuta eMotion).

2.5 Preparación del escáner láser

En la oficina, la preparación de la medición con el Trimble SX10 consistió básicamente en el análisis del emplazamiento con el fin de determinar la distribución óptima de los GCP y de las estaciones de escaneo láser del proyecto. Cada estación debía proporcionar acceso visual directo al menos a tres GCP, de forma que estos puntos estuvieran lo más dispersos posible. Como nuestro personal ya estaba familiarizado con el terreno del emplazamiento, este proceso no llevó demasiado tiempo; tal vez unos 15 minutos. Para poder cubrir suficientemente todo el emplazamiento, se situaron tres estaciones de escaneo en el exterior de la gravera y dos en el fondo del foso.

Tras marcar y medir los nueve GCP del proyecto, el SX10 se colocó en la primera de sus cinco estaciones (Figura 5). Para orientar y ajustar la posición exacta del escáner láser fue necesaria la nivelación del instrumento, tras lo cual se empleó una metodología de "estación

libre" (un método para determinar la ubicación en 3D de un punto desconocido respecto a puntos conocidos, en este caso, tres GCP preestablecidos).

La disposición del SX10 en cada una de sus cinco estaciones llevó aproximadamente 15 minutos. Para ello era necesario que el operador del escáner decidiera a qué GCP apuntar y que un segundo operador se colocara sucesivamente en cada uno de estos puntos conocidos, sujetando una diana. El escaneo láser se llevó a cabo utilizando el ajuste intermedio (Medium) de densidad de puntos por defecto del SX10. El tiempo necesario para el escaneo en cada una de las cinco estaciones dependía de la anchura del área escaneada (seleccionada directamente en la pantalla del SX10).



Figura 5: Proceso de orientación de la estación total de escaneo Trimble SX10 en el fondo de la gravera.

En promedio, la disposición del Trimble SX10 y la realización del escaneo con dicho instrumento requirió 45 minutos en cada estación. Esto suma un total de 3 h y 45 min invertidos en escanear, más algunos minutos extra necesarios para que los operadores se desplazaran entre las estaciones.

3. Procesamiento

De vuelta en la oficina, el procesamiento consistió en lo siguiente:

- Recuperación y procesamiento de las imágenes (.jpg) de los vuelos del VANT para crear cuatro nubes de puntos digitales (Tabla 2).
- Copia del archivo de nubes de puntos del escáner láser (.las) en un ordenador (habiendo guardado los puntos obtenidos con las cinco estaciones en una única nube de puntos directamente en el SX10).

El procesamiento de las imágenes del VANT se realizó empleando el software de fotogrametría Agisoft PhotoScan. Además de generar la nube de puntos de cada vuelo, este

software también genera un ortomosaico: una imagen aérea del emplazamiento, ortorrectificada y de alta resolución.

Como los puntos recogidos en las diferentes estaciones de escaneo ya se habían unificado en una única nube de puntos, el único otro trabajo posible con un escáner láser habría sido colorear los puntos con imágenes RGB capturadas con el Trimble SX10. Sin embargo, ya que la comparativa de este proyecto se estaba realizando sin tener en cuenta el color, no consideramos necesario este procedimiento. Por tanto, el trabajo posterior al escaneo, conectar el TLS al ordenador y copiar el archivo .las, requirió solo 5 minutos.

3.1 Nubes de puntos del VANT

Al haber realizado dos vuelos con el VANT a dos alturas diferentes y disponer de GCP distribuidos a través del emplazamiento a medir, este proyecto ofrecía una oportunidad única para generar y comparar varias nubes de puntos distintas obtenidas con el VANT. Esto nos permitiría abordar las tres cuestiones siguientes:

- ¿Puede un vuelo RTK por sí solo alcanzar los niveles de precisión de los vuelos con GCP?**
Comparando la nube de puntos de un vuelo con RTK habilitado y la nube de puntos de un vuelo que, en su lugar, estuviera ligado a los GCP del proyecto, sería posible analizar si los niveles de precisión geoespacial de los GCP son realmente alcanzables volando exclusivamente en modo RTK (es decir, sin utilizar los GCP).
- ¿Qué impacto ejerce la altura de vuelo/GSD sobre la calidad de la nube de puntos?**
Comparando las nubes de puntos de dos vuelos del VANT realizados a diferentes alturas –es decir, con diferentes GSD–, podría evaluarse el impacto que ejerce la resolución sobre la calidad de la nube de puntos.
- ¿Qué efecto tiene el número de fotografías sobre la densidad de la nube de puntos?**
Al unificar las nubes de puntos de los vuelos del proyecto efectuados a 100 m y a 150 m, sería posible analizar si el número de fotografías empleado en el procesamiento tiene un impacto directo sobre la densidad de la nube de puntos.

	Nube de puntos 1	Nube de puntos 2	Nube de puntos 3	Nube de puntos 4
Vuelo n.º	1 [Altura de vuelo 100 m]	2 [Altura de vuelo 150 m]	1 y 2 [Alturas de vuelo 100 y 150 m]	1 [Altura de vuelo 100 m]
Resolución de terreno de las imágenes [cm/píxel]	2,5	3,6	2,5 y 3,6	2,5
Número de imágenes	180	173	353	180
Número de GCP usados	9	9	0	0

Tiempo de procesamiento [min]*	129	166	302	56
* Especificaciones del PC de procesamiento: Xeon 3.00 GHz / Procesador de 4 núcleos, Windows 7 Pro / 64 Bit, 64 GB de RAM.				

Tabla 2: Detalles de las cuatro nubes de puntos del VANT generadas a partir de los dos vuelos del eBee del proyecto.

3.2 Análisis de las nubes de puntos

Respecto a la precisión del método de escaneo terrestre y del método con vehículo aéreo no tripulado, es conveniente diferenciar entre precisión relativa y precisión absoluta. La precisión absoluta se puede obtener con un VANT mediante el uso de puntos de control terrestre (GCP) o a través de correcciones RTK/PPK del vuelo del dron. En cambio, la precisión relativa de los resultados generados a partir de las imágenes del dron depende de la resolución de dichas imágenes, lo cual está directamente relacionado con la altura de vuelo del aparato: cuanto menor sea la altura, mayor será la densificación de la nube de puntos.

La precisión absoluta de un escáner láser terrestre (TLS) depende del método empleado para posicionar el instrumento. En el caso de este proyecto, esto se ha hecho a partir de la estación libre, o lo que es lo mismo, directamente a partir de la precisión de los (tres) GCP medidos para determinar la posición de cada estación TLS. La precisión relativa de los puntos medidos con el TLS está directamente relacionada con la precisión angular y la precisión del medidor de distancias electrónico (EDM).

Dado que las precisiones relativa y absoluta del dron tienen un error conocido de unos pocos centímetros, y que el TLS puede en cambio lograr una precisión de unos pocos milímetros, podemos asumir que, a priori, la precisión de la nube de puntos del TLS es superior. Por este motivo, y ya que la recopilación de datos con el TLS permite una mayor densidad de puntos que la obtenida con el VANT (con el ajuste de densidad del TLS en posición intermedia), se decidió utilizar la nube de puntos del SX10 como referencia para comparar las diferentes nubes de puntos del VANT.



Figura 6: El mapa del área utilizada para la comparación

La nube de puntos georreferenciada del SX10 y las cuatro nubes de puntos del VANT se analizaron en CloudCompare y Autodesk AutoCAD Civil 3D 2015 (Figura 6).

En CloudCompare se utilizó una función llamada M3C2 para el análisis. Este plugin es un proceso avanzado para calcular deltas con signo (y robustos) directamente entre dos nubes de puntos. A continuación se presentó la comparación de las diferencias 3D con la media y la desviación estándar (Tabla 3).

Entretanto, se realizó una comparativa de volumen en AutoCAD utilizando la misma superficie base para todas las nubes de puntos (Tabla 3). Después se compararon los volúmenes de corte y relleno respecto a esta superficie.

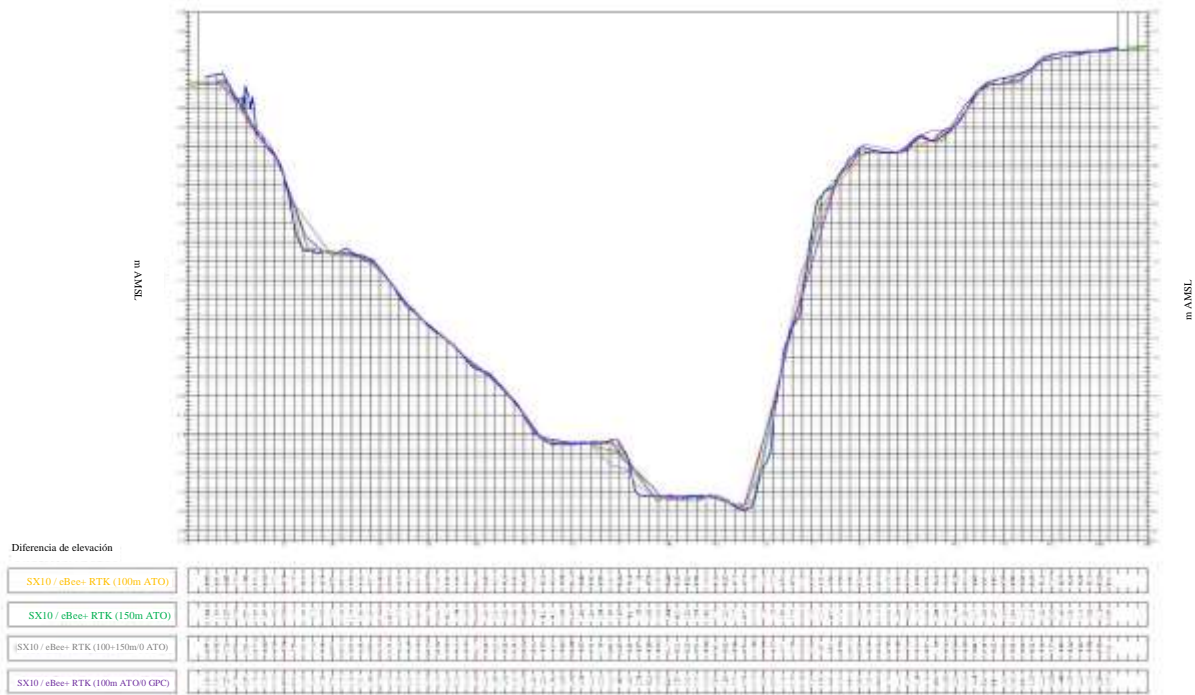


Figura 7: Una tercera y última comparación se llevó a cabo en AutoCAD Civil 3D utilizando una sección transversal de la parte más profunda de la gravera.

4. Resultados

4.1 Resultados numéricos

Los resultados numéricos de CloudCompare y AutoCAD se muestran en la Tabla 3. Cada uno de los valores compara una nube de puntos específica obtenida con el VANT con la nube de puntos del escáner láser.

	Nube de puntos 1	Nube de puntos 2	Nube de puntos 3	Nube de puntos 4
Vuelo n.º	1 [Altura de vuelo 100 m]	2 [Altura de vuelo 150 m]	1 y 2 [Alturas de vuelo 100 y 150 m]	1 [Altura de vuelo 100 m]
CloudCompare – media [cm]	5,5	6,4	9,4	9,5
CloudCompare – desv.est. [cm]	5,2	5,9	5,9	5,8
AutoCAD – Diferencia de volumen [m ³]	-4198	-2041	619	-1078
Diferencia de volumen / Superficie [cm]	-0,12	-0,06	0,02	-0,03

Tabla 3: Tabla de resultados en la que se compara la nube de puntos obtenida a partir de los datos del Trimble SX10 (nuestra nube de puntos de referencia) con las cuatro nubes de puntos distintas obtenidas con el VANT eBee Plus.

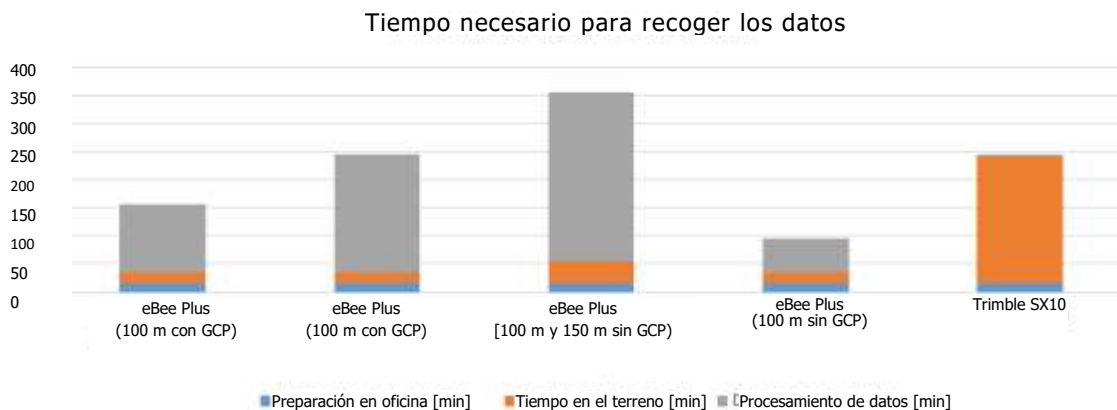
Otro método de comparación numérica consiste en comparar el número de puntos existentes en cada nube de puntos (Tabla 4).

	Número de puntos	Puntos por m ²
Escáner láser	24.416.594	741
Vuelo VANT a 100 m	1.246.951	37
Vuelo VANT a 150 m	645.695	19

Tabla 4: Número de puntos en diferentes nubes de puntos

La nube de puntos obtenida al unificar los vuelos del VANT a 100 m y a 150 m contenía un número de puntos similar al de la nube obtenida con el vuelo a 100 m. Esto se debe a que las imágenes de los dos vuelos se fusionaron y procesaron utilizando exactamente los mismos ajustes de procesamiento de imágenes que para el vuelo a 100 m.

4.2 Tiempo necesario para recoger los datos



Gráfica 1: Tiempo total requerido para la recolección de datos.

4.3 Capturas de pantalla de las nubes de puntos

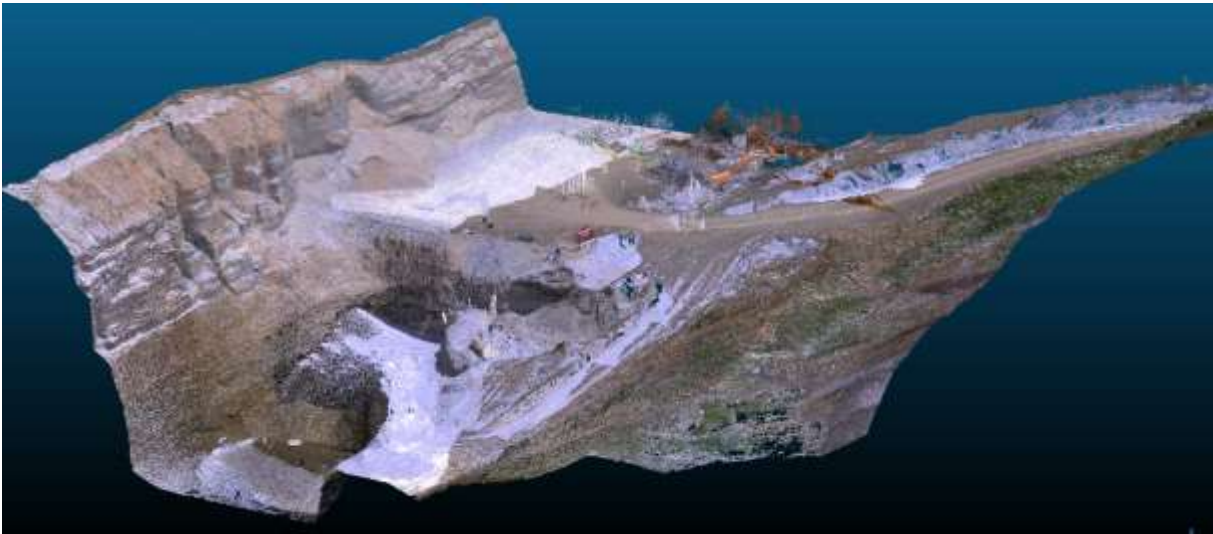


Figura 8: Capturas de pantalla de la nube de puntos del TLS

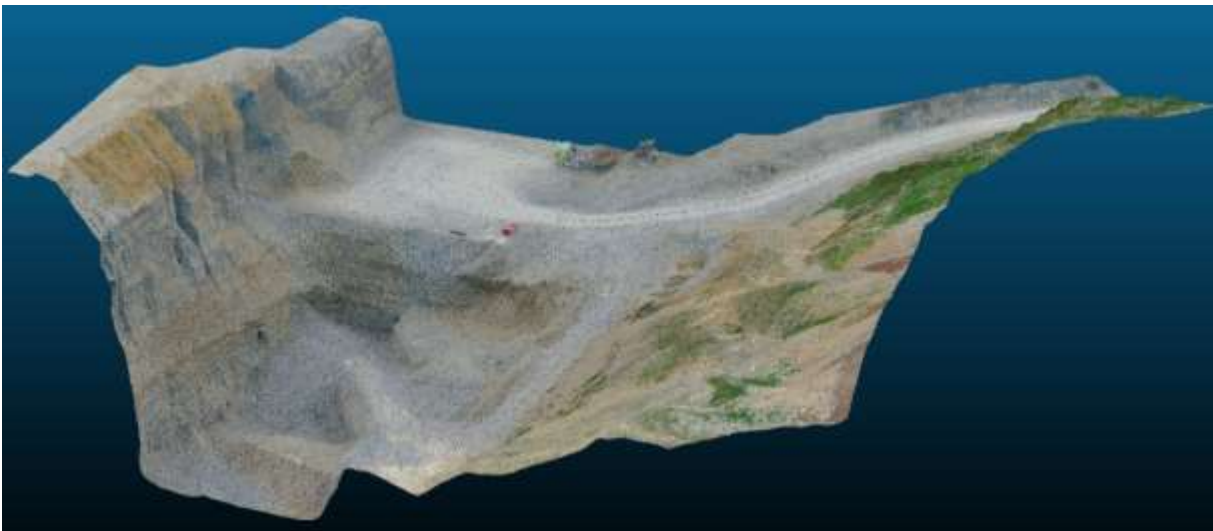


Figura 9: Capturas de pantalla de la nube de puntos del VANT a 100 m sin GCP

4.4 Discusión

Aunque, tal como se esperaba, se confirmó la influencia de la GSD en la densidad de la nube (concretamente, que hay más puntos en las nubes de puntos con mayor GSD); al unificar los dos vuelos realizados a diferentes alturas (con el doble de imágenes que procesar) no se obtuvo ningún beneficio notable. La GSD media no fue más precisa, la nube de puntos no contenía más puntos (debido a que las imágenes se fusionaron y procesaron empleando los mismos ajustes que para el vuelo individual a 100 m) y el tiempo total de procesamiento fue superior.

Respecto a la cuestión de si un vuelo en modo RTK únicamente podría conseguir la misma precisión absoluta que un vuelo ligado a GCP, se demostró que sí es posible. El desplazamiento medio de las nubes de puntos correspondientes a los vuelos que empleaban GCP fue unos pocos centímetros mejor que el del vuelo realizado con RTK a bordo, sin GCP. La desviación estándar fue la misma en todos los procesamientos de datos del VANT. Esto

significa que todos los tipos de procesamiento ofrecen una precisión constante durante todo el desarrollo del proyecto.

Respecto al número de puntos capturados o densidad de puntos –concretamente el número medio de puntos por metro cuadrado–, los vuelos del VANT produjeron un nivel de detalle suficiente como para hacer mediciones topográficas de lugares como canteras. Por su parte, el TLS proporciona un mayor nivel de detalle (a su ajuste de densidad por defecto), lo que puede resultar adecuado para proyectos más pequeños y exigentes como trabajos de cartografía digital para la conservación. También es importante recalcar que la densidad de puntos fue homogénea en los dos casos (VANT y TLS), lo que significa que existe una diferencia mínima entre las menores y mayores densidades de puntos por metro cuadrado. Esto es más relevante para el nivel final de detalle que el número medio de puntos por sí solo.

Aunque los tiempos de preparación del TLS y del VANT (Gráfica 1) fueron similares, el tiempo invertido en el terreno con el VANT fue significativamente inferior (aproximadamente diez veces menos para un único vuelo sobre la gravera). En cuanto al post-proceso, el tiempo de procesamiento de imágenes del VANT es un factor a tener en cuenta, aunque este tiempo es considerablemente mayor cuando se usan GCP: aproximadamente un 50% mayor que en los vuelos con solo RTK.

Respecto al tiempo total para la producción de datos (recolección y procesamiento) empleado por cada tecnología (Gráfica 1), en el caso de un único vuelo RTK sin GCP, este requiere un tercio del tiempo empleado por el TLS. En el caso de un único vuelo del VANT a 100 m con GCP, este ahorro de tiempo se reduce aproximadamente al 40%.

5. Conclusión

El objetivo de este proyecto de detección remota era comparar las nubes de puntos generadas a partir de imágenes de TLS y VANT. Concretamente, evaluando la eficiencia de cada recolección de datos para las nubes de puntos y la calidad final de cada una de las nubes generadas.

	TLS	VANT [Altura de vuelo 100 m]	VANT [Altura de vuelo 150 m]
N.º de puntos	24.416.594 [741 puntos/m ²]	1.246.951 [37 puntos/m ²]	645.695 [19 puntos/m ²]
CloudCompare – desv.est. [cm]	n/d (referencia)	5,2	5,9
Tiempo total de recolección (en terreno y procesamiento) [min]	225	20	20
Coste aproximado (CHF)	80.000 CHF	30.000 CHF	

Tabla 5: Resumen de los datos comparativos.

5.1 Eficiencia

El proceso de recogida de datos de puntos sobre el terreno con el VANT eBee Plus con RTK habilitado, sin necesidad de GPC, fue más del doble de eficiente que con el TLS (Gráfica 1). En el caso de los vuelos sin RTK, ambos vuelos (a 100 m y a 150 m) todavía fueron notablemente (40%) más rápidos que con el método del TLS.

Respecto al procesamiento de datos, el TLS requiere cero procesamiento, y solo es necesario copiar un archivo del instrumento al ordenador. Por el contrario, las imágenes del VANT se han de copiar y procesar, para lo cual son necesarias entre una y tres horas y media, dependiendo de la altura del vuelo (Tabla 2). No obstante, debe tenerse en cuenta que el tiempo de procesamiento fotogramétrico es un tiempo exclusivamente de ordenador: una vez iniciado, el proceso se ejecuta de forma autónoma. Por tanto, el personal puede dedicarse a otras tareas, como planificar o realizar más vuelos con el VANT.

Si se suman los tiempos sobre el terreno y los tiempos de procesamiento, la comparativa del tiempo total de recolección de datos de cada tecnología (Tabla 5) muestra que la eficiencia global del eBee Plus con RTK habilitado es superior a la del TLS para la medición de graveras de estas características. Para emplazamientos de este tipo, los VANT suponen un valioso método con el que los equipos de medición pueden ver reducida su carga de trabajo de recolección de datos. Por lo tanto, los VANT podrían permitir a dichas empresas reducir gastos de personal, ofrecer precios más competitivos y/o realizar más cantidad de proyectos en un tiempo determinado.

5.2 Precisión posicional absoluta

Podemos concluir que el uso de GCP no es necesario para garantizar una alta precisión absoluta con un VANT (Tabla 3), ya que el dron senseFly y los sistemas VRS suizos permitieron georreferenciar las imágenes con una elevada precisión absoluta. Esto se demostró comparando las nubes de puntos generadas con GCP y con solo RTK respecto a la nube de puntos del TLS; el desplazamiento fue mínimo, y todas las comparativas mostraron la misma desviación estándar, lo que significa que el ruido fue constante a lo largo de todo el proyecto, independientemente de que se utilizaran GCP o no.

5.3 Calidad de las nubes de puntos

La calidad de las diversas nubes de puntos puede evaluarse observando la densidad de puntos y el ruido. La densidad de puntos es muy alta en el caso de la nube de puntos del TLS. Sin embargo, las comparaciones mostradas más arriba demuestran que las nubes de puntos menos densas del VANT consiguen resultados similares. Por lo tanto, podemos concluir que, aunque las nubes de puntos del VANT proporcionan menos nivel de detalle que las nubes de puntos del TLS (ajustado a su densidad media), el detalle proporcionado sigue siendo suficiente para la mayor parte de aplicaciones de medición topográfica.

Aunque no se determinó el ruido de cada nube de puntos individual, al comparar las distintas nubes de puntos del VANT con la nube de puntos del TLS (mediante la superposición sucesiva de las mismas) se registró la misma desviación estándar y el mismo desplazamiento mínimo. De esta manera, podemos concluir que el ruido procedente de todas estas fuentes es mínimo y no relevante: todas las nubes de puntos fueron perfectamente explotables y los

productos derivados de ellas, como modelos digitales de terreno, volúmenes, etc., no se vieron afectados.

5.4 Resumen

En proyectos topográficos en los que es necesario un nivel de detalle máximo, como, por ejemplo, proyectos digitales para la conservación realizados en pequeños emplazamientos; la metodología del escaneo láser resulta, sin lugar a dudas, óptima.

En proyectos más amplios de topografía, tales como la gravera del presente proyecto o una cantera o zona de construcción de un tamaño similar, la tecnología del VANT con RTK habilitado proporciona niveles de detalle y precisión más que aceptables en las nubes de puntos, además de una mayor eficiencia. Asimismo, la metodología del VANT puede mejorar potencialmente la seguridad de los trabajadores, ya que el personal de medición no necesita atravesar el terreno del emplazamiento a medir.

Para la gravera de este proyecto en concreto, el método óptimo de recolección de datos en términos de eficiencia y calidad puede concluirse que es un vuelo de VANT con RTK (sin GCP) realizado a baja altitud (100 m). Este método permite un menor tiempo de procesamiento de imagen, una alta precisión absoluta y una densidad de puntos aceptable, a la vez que minimiza el riesgo sobre el terreno.

Otra diferencia significativa entre la recolección de datos con el VANT y con el TLS es la capacidad de guardar y volver a cargar en el futuro cualquier plan de vuelo automatizado del VANT. Gracias a ello se puede garantizar la consistencia de futuros datos cuando se lleva un seguimiento de un lugar a lo largo del tiempo; por ejemplo, para calcular las diferencias de volumen entre una semana o un mes y los siguientes. Por el contrario, el método del TLS requiere puntos de control cuyo establecimiento consume tiempo si estos no han sido fijados previamente.

Los datos visuales adicionales proporcionados por el VANT en forma de ortomosaicos aéreos en 2D (ortofotografías), creados tras el procesamiento de las imágenes, también son valiosos. Estos resultados son del agrado del cliente y pueden servir como excelente complemento a una nube de puntos o un modelo digital de superficie.

Por último, también merece la pena recalcar que, desde el punto de vista económico, el precio de venta al público del VANT (Tabla 5) es, a la fecha (enero 2018), aproximadamente un tercio del precio del TLS en Suiza.

NOTAS BIOGRÁFICAS

Armin Weber, Máster en Geomática, ETH Zúrich, Suiza, copropietario de Lerch Weber AG
Thomas Lerch, licenciado en TI y licenciado en Geomática, FHNW, Suiza, copropietario de Lerch Weber AG.