

Una Comparación de Tecnologías de Levantamiento Topográfico Minero

Satélite vs. Dron vs. LiDAR



PhotoSat Information Ltd.
#580—1188 West Georgia Street
Vancouver BC Canada V6A4E2
PhotoSat.ca

Evaluación de los Pros y Contras de Varias Fuentes de Datos



Esta guía detallada proporciona una comparación en profundidad de varios levantamientos topográficos mineros, entre ellos satélites ópticos, drones y LiDAR. Esta información ayuda a los profesionales de la minería a sopesar las fortalezas y limitaciones de cada herramienta en relación con los objetivos específicos de su operación en cada etapa del ciclo de vida del proyecto.

Los emplazamientos mineros son entornos dinámicos en los que las condiciones cambian rápidamente. Los profesionales de la minería requieren la información más actualizada para garantizar que sus operaciones cumplan con los estándares geotécnicos y otras directrices y protocolos pertinentes. Esta supervisión continua requiere datos precisos y oportunos para tomar decisiones cruciales. Garantizar la seguridad, el cumplimiento y la gestión eficiente de las operaciones mineras requiere de tecnologías robustas de levantamiento topográfico.

A medida que la industria avanza y las complejidades han superado a los métodos tradicionales de levantamientos topográficos manuales, nuevas tecnologías de Teledetección han surgido para agilizar el proceso de captura de datos. Cada tecnología de levantamiento topográfico proporciona ciertas ventajas y limitaciones, dependiendo de los factores dinámicos que varían de un sitio a otro. Al comprender estos pros y contras, y cómo equilibrarlos de forma integral, los operadores pueden escoger las mejores herramientas para monitorear sus sitios y tomar decisiones informadas que impulsen sus operaciones hacia la rentabilidad.

Satélites Ópticos de Alta Resolución

Los datos de **satélites ópticos de alta resolución** han estado disponibles en el mercado desde principios de la década del 2000. Al capturar dos imágenes de la misma área desde diferentes ángulos, capturadas con segundos a minutos de diferencia, los datos satelitales se pueden procesar para obtener una topografía tridimensional.

Fortalezas

Una de las ventajas clave que ofrecen los satélites ópticos es su amplio rango de cobertura, que puede realizar la medición de cientos de km² en una sola imagen instantánea. Puesto que la topografía se obtiene de una única adquisición de datos, los satélites proporcionan datos extremadamente consistentes en toda el área de cobertura, eliminando los desafíos de corregir datos por errores de desfase entre múltiples levantamientos.

Como su nombre lo indica, los datos de satélites ópticos de alta resolución ofrecen una buena resolución y precisión tanto relativa como absoluta. Cuando se combina con levantamientos previos de terreno descubierto o puntos de control terrestre, los datos satelitales pueden lograr una precisión vertical absoluta superior a 15 centímetros. Nota: los datos de drones no son un buen control terrestre para los satélites debido a los desfases mencionados anteriormente.

Otra ventaja operacional de los satélites ópticos es que no requieren acceso al sitio, lo que puede ser muy beneficioso al hacer levantamientos en áreas remotas de difícil acceso o condiciones peligrosas, como áreas políticamente inestables o zonas de guerra, que podrían representar problemas de seguridad para los topógrafos u operadores de drones. A diferencia del LiDAR aéreo tripulado, los satélites no requieren permisos de vuelo ni coordinación de aeronaves para su implementación.

Además de la captura de datos nuevos para actualizar levantamientos topográficos, se puede utilizar un archivo continuo de datos satelitales disponible en el mercado que datan de la década

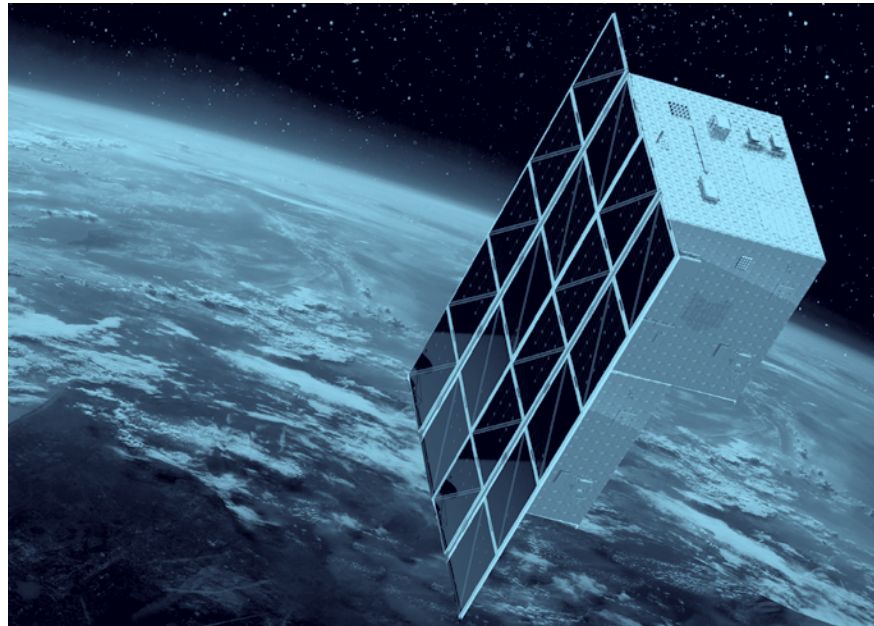
de 1960 para generar topografía histórica del sitio. Al utilizar estas imágenes satelitales de archivo, los operadores pueden completar posibles brechas de datos producidas por cambios de propiedad, de personal y de regulaciones para comprender mejor las operaciones del sitio a lo largo del tiempo y planificar mejoras de seguridad y eficiencia en el futuro.

Limitaciones

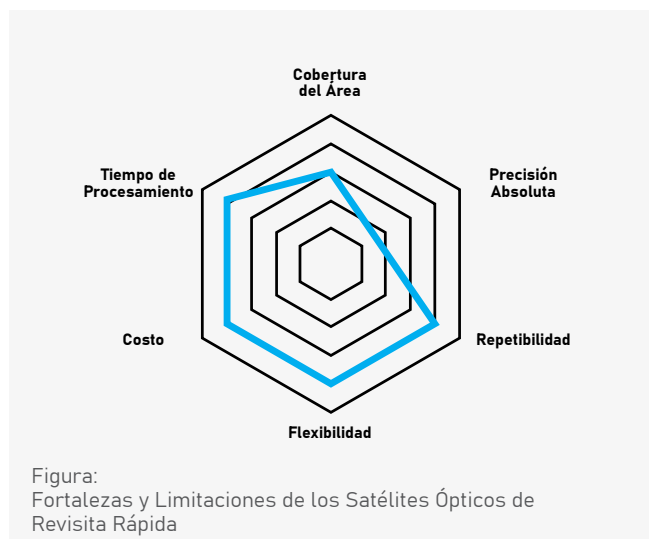
Aunque las imágenes satelitales pueden abarcar áreas de superficie mucho más grandes que otras tecnologías de topografía remota en una sola toma, la precisión es ligeramente inferior. Además, las imágenes satelitales pueden verse afectadas por la nubosidad y las condiciones atmosféricas, lo que puede limitar los tiempos de captura. La competencia con otros usuarios que solicitan captura de imágenes a los satélites en la misma zona también puede dificultar la frecuencia de captura.



Satélites Ópticos de Revisita Rápida



Las constelaciones de satélites ópticos de revisita rápida son un desarrollo relativamente nuevo en tecnología para generar topografía en comparación con los satélites ópticos de alta resolución. Estas grandes constelaciones de satélites más pequeños pueden recopilar datos con más frecuencia que los satélites de alta resolución, ofreciendo actualizaciones topográficas hasta semanalmente para monitorear zonas limitadas como instalaciones de almacenamiento de relaves o pilas de acopio.



Fortalezas

Como su nombre indica la principal ventaja de estos satélites es la mayor frecuencia de captura de datos en comparación con las misiones de satélites ópticos de mayor tamaño y alta resolución. Los satélites ópticos de revisita rápida pueden medir áreas más grandes que la captación de un dron individual, pero más pequeñas que los satélites ópticos de alta resolución o LiDAR aéreo tripulados.

Limitaciones

La resolución de píxel y la precisión absoluta de los satélites ópticos de revisita rápida son actualmente inferiores a los niveles ofrecidos por otras herramientas, pero la tecnología de sensores está mejorando rápidamente.

Drones



Los Drones (también conocidos como UAV) han avanzado considerablemente en los últimos años, ganando popularidad en la industria minera a medida que las empresas invierten en tecnología de drones para obtener rápidamente datos detallados y localizados que puedan ayudar con la gestión de relaves, la gestión de pilas de acopio y otras topografías específicas.

Fortalezas

La mayor ventaja que aportan los drones a un emplazamiento minero es su implementación flexible y según demanda, lo que permite una rápida captura de datos. Cuando se implementan como parte de un programa interno, los drones pueden ser una herramienta extremadamente rentable para capturar detalles topográficos.

Otra ventaja es que, dado que los drones vuelan a alturas más bajas que las aeronaves tripuladas tradicionales, pueden evitar ciertas condiciones atmosféricas que impiden a los satélites ópticos capturar datos claros incluso en condiciones de

nubosidad. Esta menor altitud de vuelo puede dar lugar a una mayor resolución de píxel con precisión vertical de hasta niveles centimétricos.

Limitations

Los drones vienen con varias limitaciones en comparación con otras tecnologías de teledetección. En primer lugar, la vida limitada de la batería reduce el área de cobertura que los drones pueden inspeccionar en un solo vuelo, provocando desfases entre múltiples capturas de datos en un área más grande. Los drones se utilizan mejor para levantamientos detallados y localizados, en lugar de inspecciones a gran escala. Las condiciones meteorológicas, como los vientos fuertes, la lluvia, la niebla y las temperaturas extremas, pueden afectar la estabilidad de vuelo y la calidad de los datos, limitando la ventana operacional para los levantamientos con drones.

Aunque la implementación de drones generalmente es rápida y flexible, el procesamiento de datos es otra consideración. Los levantamientos derivados de datos de drones son Modelos Digitales de Superficie (DSM), que incluyen vegetación y edificios. Es necesario realizar un posprocesamiento para depurar estos elementos a fin de producir una superficie de terreno descubierto preciso. Otra limitación es la competencia entre los diferentes grupos en el sitio minero.

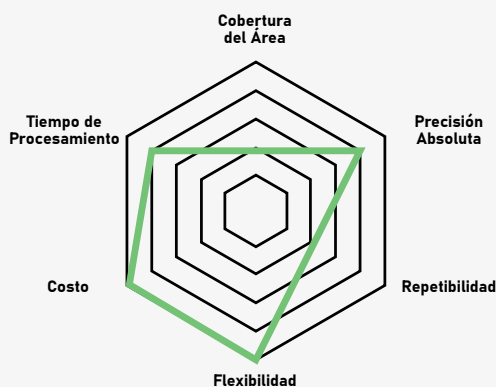


Figura: Fortalezas y limitaciones de los Drones

LiDAR

El primer sistema **Light Detection and Ranging (LiDAR)** se introdujo en 1961 para rastrear satélites para la NASA (SatSense, 2021, párr. 2). Desde entonces, LiDAR se ha convertido en un sistema estándar de captura de datos para medir la elevación en los sitios mineros, utilizando sensores conectados a aeronaves tripuladas que emiten pulsos láser para capturar datos increíblemente precisos sobre la superficie del terreno.

Fortalezas

El LiDAR aéreo tripulado se ha convertido en el punto de referencia para los levantamientos topográficos en operaciones mineras con una alta precisión absoluta. Con precisiones verticales de hasta 5 centímetros con control terrestre y capacidad de capturar un sitio completo en un solo vuelo, LiDAR puede ser una herramienta valiosa para crear un levantamiento de referencia detallado que se puede utilizar para comparar con otras fuentes de datos posteriores.

Otra ventaja clave es la capacidad del LiDAR para atravesar la vegetación. Por lo general, esto da

como resultado una superficie de terreno o suelo descubierto, un Modelo Digital de Terreno (DTM) o un Modelo Digital de Elevación (DEM), lo que proporciona a los operadores un levantamiento preciso de la topografía del emplazamiento minero.

Limitaciones

Las ventajas altamente precisas de LiDAR pueden ser una arma de doble filo. Dado que estos sistemas capturan grandes conjuntos de datos con una densidad de datos muy alta, los levantamientos LiDAR pueden tomar mucho tiempo para procesarse y ser difíciles de manipular, lo que puede dar lugar a costos adicionales.

Además, la necesidad de enviar aeronaves tripuladas para realizar un levantamiento LiDAR puede presentar desafíos para sitios remotos, lo que hace que esta tecnología sea una opción relativamente compleja y de alto costo para la captura de datos. Aunque puede atravesar la vegetación, la lluvia puede ser problemática para los sensores LiDAR, ya que las gotas de agua reflejan y absorben el haz de láser emitido.

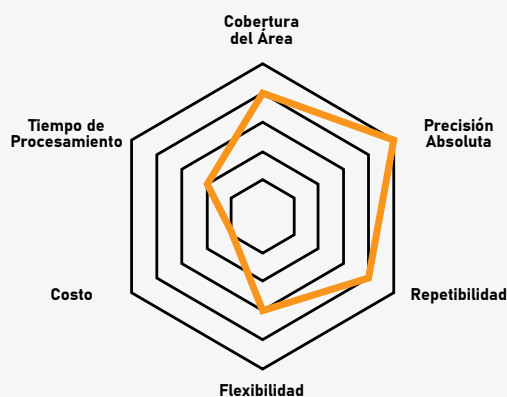


Figura: Fortalezas y Limitaciones del LiDAR Aerotransportado tripulado





SIDEBAR:

Definición de Resolución y Precisión

Resolución Espacial: La Distancia de Muestreo Terrestre (GSD) indica el nivel detalle de la imagen. Un GSD más pequeño significa una mayor resolución y más detalle (p. ej., una resolución de 20 cm muestra más que una de 30 cm). La resolución de las imágenes satelitales suele clasificarse como gruesa/baja, media o fina/alta.

Resolución de Grilla de Elevación: Este parámetro denota el espaciado entre puntos de datos individuales dentro de un Modelo Digital de Elevación (DEM). Una grilla de mayor resolución tiene una distancia menor entre estos puntos, facilitando una representación más detallada y precisa del terreno. Este nivel de detalle mejorado es esencial para aplicaciones que requieren mediciones topográficas precisas. Sin embargo, es importante reconocer que las grillas de mayor resolución también implican tamaños de archivo más grandes y mayores requisitos de procesamiento.

Precisión Relativa: La precisión relativa se refiere a la calidad interna de los datos de elevación sin utilizar puntos de control terrestre medidos, lo que significa que los puntos de datos individuales son precisos dentro de un conjunto de datos en particular. Los parámetros de calibración del sistema de captura de datos y las técnicas de procesamiento de datos pueden afectar la precisión relativa.

Precisión Absoluta: La precisión absoluta, también conocida como precisión global, se refiere a la precisión horizontal y vertical de un conjunto de datos, evaluada mediante la comparación de los datos del levantamiento con los puntos de control medidos en el terreno.

Al comparar la precisión y la resolución de satélites ópticos de alta resolución, drones y LiDAR, cada tecnología ofrece ventajas diferentes. Los drones suelen lograr una gran resolución de píxel y precisión relativa, por lo general hasta niveles centimétricos, aunque su precisión absoluta se puede clasificar de buena a excelente, dependiendo de las prácticas de control de calidad.

Por otro lado, LiDAR se destaca en precisión relativa y absoluta, proporcionando mediciones con gran nivel de detalle con precisión absoluta en un rango de 5 a 15 centímetros, lo que lo convierte en una opción sólida para datos de elevación precisos.

Por otro lado, los satélites ópticos de alta resolución ofrecen una buena resolución y precisión, normalmente de 20 centímetros o menos. Aunque los drones pueden verse afectados por problemas de control de calidad, tanto los satélites ópticos como LiDAR mantienen un desempeño constante en cuanto a sus respectivas fortalezas.



SIDEBAR:

¿Y qué hay de InSAR

Dado que esta tecnología no se utiliza para levantamiento topográfico, InSAR no se ha incluido en nuestro análisis detallado.

SAR:

Una técnica de teledetección que utiliza pulsos de radar para crear imágenes de alta resolución de la superficie de la Tierra.

Interferograma:

Muestra los cambios de fase entre dos imágenes, revelando variaciones de elevación o deformación de la superficie.

Análisis de Fase:

Al comparar las fases de dos o más imágenes, InSAR puede detectar variaciones sutiles, que pueden indicar deformación de la superficie.

Procesamiento de Datos:

Los datos del interferograma se procesan para extraer información significativa sobre la deformación de la superficie, como la magnitud y la dirección del desplazamiento.

Monitoreo de Deformación Temporal:

InSAR no es directamente comparable con las otras tecnologías analizadas aquí, ya que se diseñó para un propósito muy diferente, específicamente para detectar movimientos del suelo y cambios en la superficie a nivel milimétrico o centimétrico en áreas de cobertura limitada de hasta 100 km².

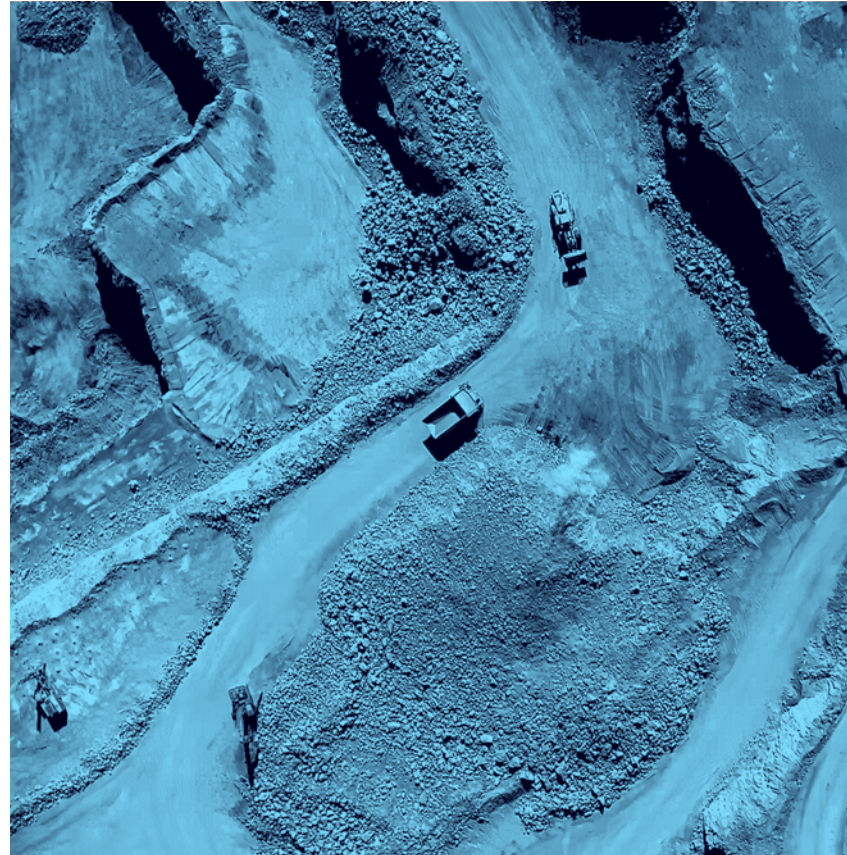
Movimiento del Terreno vs. Levantamiento Topográfico:

El uso de InSAR es principalmente para aplicaciones tales como seguimiento de deformación de tranques de relaves, análisis de hundimiento y movimiento de terreno y evaluación de riesgos de deslizamiento de tierra.

El Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR) se exploró por primera vez en 1980, pero no se hizo un uso práctico hasta la década de 1990 (SatSense, 2021, párr. 2).

A diferencia de las otras tecnologías descritas en este documento, que se utilizan para obtener levantamientos topográficos, InSAR ocupa un nicho específico en el seguimiento de la deformación de la superficie y la medición de la elevación.

Análisis Comparativo De Tecnologías de Levantamiento Topográfico Minero



Cada emplazamiento minero presenta desafíos únicos que afectan el diseño general y la implementación de un programa de levantamiento eficaz, que puede verse influenciado por una serie de factores como el tamaño del sitio, la facilidad de acceso y los requisitos operacionales.

Estos son algunos de los principales factores que los operadores mineros deben tener en consideración a la hora de evaluar las ventajas y limitaciones de diversas tecnologías de topografía remota:

- **Área de Cobertura:** ¿Qué tamaño de área geográfica puede abarcar esta herramienta en una sola captura?
- **Precisión:** ¿Cuál es la precisión vertical absoluta del levantamiento? (Ver SIDEBAR: Definición de Resolución y Precisión)
- **Repetibilidad:** ¿Qué nivel de repetibilidad tienen los resultados de un levantamiento a otro?
- **Flexibilidad:** ¿Con qué rapidez se puede coordinar un levantamiento y capturar sus datos?
- **Costo:** ¿Qué gastos conlleva la implementación de esta tecnología de levantamientos?
- **Tiempo de Procesamiento:** ¿Con qué rapidez se pueden procesar los datos brutos para convertirlos en un levantamiento utilizable?
- **Frecuencia de Captura:** ¿Con qué frecuencia se puede (o debe) repetir la captura de datos?
- **Vida Útil de la Tecnología:** ¿Durante cuánto tiempo puede una empresa contar con esta herramienta una vez implementada?

Este análisis comparará el desempeño de los satélites ópticos, drones y LiDAR tripulado en cada uno de estos criterios para ayudar a los operadores mineros a analizar las fortalezas y limitaciones de cada tecnología. Estos resultados destacarán cómo aprovechar mejor las ventajas y compensar las limitaciones sacando partido a las herramientas complementarias a través de un enfoque holístico del levantamiento.

Área de cobertura

- 1. Los satélites ópticos de alta resolución** ofrecen el área de cobertura más amplia, por lejos, con la capacidad de medir cientos de km^2 en una sola toma, que puede abarcar desde áreas de apenas 50 km^2 hasta miles de km^2 . Nota: con algunos distribuidores, y para sensores específicos, los clientes pueden realizar solicitudes de 25 km^2 , dependiendo de las necesidades de medición dentro de esa área. Esta capacidad de medición de amplio rango permite a los operadores capturar imágenes de todo un emplazamiento minero a la vez, evitando el problema de tener que corregir errores de desfase entre múltiples levantamientos.
- 2. Los satélites ópticos de revisita rápida** tienen un área de cobertura mucho menor, de decenas de km^2 , comparado con cientos de km^2 .
- 3. Los levantamientos LiDAR** pueden cubrir áreas grandes en un solo vuelo, pero no tan grandes como los satélites (los números exactos varían entre los sistemas LiDAR).
- 4. Los drones** proporcionan el área de cobertura más pequeña, cubriendo normalmente hasta 4 km^2 por vuelo. Este rango de cobertura limitada es uno de los inconvenientes más significativos de la tecnología de drones.

Precisión

- 1. LiDAR** por lo general es la tecnología de topografía más precisa, con una precisión relativa y absoluta que oscila entre 5 y 15 centímetros.
- Dependiendo de los puntos de control terrestre utilizados, los drones y los satélites ópticos de alta resolución ofrecen niveles de precisión entre 10 y 15 centímetros (sin embargo, siempre que los drones tengan los controles terrestres y de calidad adecuados, ofrecen una precisión ligeramente mayor). Si bien no es tan preciso como los datos LiDAR, las imágenes de drones y satélites crean levantamientos topográficos fiables para aplicaciones de ingeniería de minas y relaves.
- 3. Los satélites ópticos de revisita rápida** tienen una precisión menor que otras tecnologías.

Repetibilidad

1. **Los satélites ópticos de alta resolución** ofrecen la mejor repetibilidad de datos de un levantamiento a otro, principalmente porque capturan imágenes estéreo desde dos o más ángulos simultáneamente y recopilan grandes volúmenes de datos en una sola toma, eliminando el margen de error. Dado que las posteriores capturas de datos proceden de sensores equivalentes y pasan por el mismo sistema de procesamiento, los resultados de múltiples levantamientos son fácilmente comparables.
2. **Los satélites ópticos de revisita rápida** ofrecen resultados altamente repetibles, aunque sobre una superficie cuadrada más pequeña que sus pares de alta resolución.
3. **LiDAR** es la siguiente mejor opción en términos de repetibilidad, nuevamente debido a que el área que se está midiendo es más grande y a la consistencia de los datos entre levantamientos.
4. **Los drones** pueden ser problemáticos al repetir levantamientos posteriores porque cubren áreas muy limitadas, lo que requiere que se deba reagrupar los datos, con lo cual se podrían generar errores de desfase y brechas de información. También son más propensos a errores humanos que las otras tecnologías, lo que significa que los datos pueden variar entre diferentes operadores de un vuelo a otro.

Flexibilidad

1. **Los drones**, cuando forman parte de un programa interno de drones, suelen ser la tecnología de levantamiento más fácil de coordinar e implementar, siempre y cuando las solicitudes de programación se puedan gestionar de forma eficiente entre las diversas áreas y necesidades contrapuestas dentro de un sitio. Sin embargo, los drones requieren permisos y un operador in situ, lo que puede limitar el acceso en áreas remotas o peligrosas. Aunque pueden navegar por debajo de la nubosidad que puede obstruir a otras tecnologías, los drones pueden quedar imposibilitados de volar por otras condiciones climáticas, como vientos fuertes, lluvia, niebla y temperaturas extremas.
2. **Los satélites ópticos de alta resolución** requieren más coordinación que los drones, pero no tanto como LiDAR. Los satélites deben enfrentarse a las condiciones atmosféricas y a la competencia de otras entidades que desean capturar datos en las mismas áreas, pero una vez que se les asigna la tarea, por lo general los satélites pueden capturar imágenes bastante rápido. En comparación con otras tecnologías, la ventaja más flexible que ofrecen los satélites es que no requieren operadores ni permisos.
3. **Los satélites ópticos de revisita rápida** ofrecen aún más flexibilidad, proporcionando oportunidades de captura semanalmente en cualquier lugar del mundo, mientras que esta se produce rápidamente después de la asignación de la tarea.
4. **LiDAR aéreo tripulado** es la tecnología de levantamiento más difícil de implementar, ya que requiere acceso a aeropuertos, aeronaves y permisos, lo que puede ser difícil de coordinar, especialmente en regiones remotas

Costo

1. **Los drones** suelen ofrecer la solución de menor costo para los levantamientos topográficos, especialmente cuando se incorporan a los gastos operacionales de una empresa minera como parte de un programa interno. Contratar a un operador de drones externo puede ser más costoso.
2. **Los satélites** se vuelven cada vez más asequibles a medida que se implementan más constelaciones, lo que hace que estos datos sean más accesibles y rentables para monitorear las operaciones mineras.
3. **LiDAR** pueden variar según la región, pero los gastos involucrados en la implementación de la aeronave utilizada para capturar los levantamientos LiDAR, más los costos adicionales incurridos en el procesamiento de datos densos, a menudo hacen que esta opción sea la más costosa.

Tiempo de Procesamiento

1. **Los drones** suelen emplear software que permite un procesamiento bastante rápido de los datos capturados durante los levantamientos, a veces en cuestión de horas. Pero incluso con el mejor software, los datos aún requieren un procesamiento posterior para fusionar captaciones múltiples, manejar cualquier desfase, eliminar vegetación, edificios y otras obstrucciones, y lograr imágenes del terreno descubierto.
2. **Los satélites** proporcionan datos de la superficie de terreno descubierto que están disponibles en un plazo de días después de la captura.
3. **LiDAR** captura conjuntos de datos muy densos, que pueden tardar meses en procesarse para convertirlos en datos topográficos utilizables.

Frecuencia de Captura

1. **Los datos de drones** se pueden capturar fácilmente de forma semanal para medir áreas específicas y localizadas de un sitio.
2. **Los satélites ópticos de revisita rápida** pueden capturar datos topográficos de forma mensual o semanal.
3. **Los satélites ópticos de alta resolución** se utilizan normalmente para realizar mediciones en sitios de forma mensual a trimestral. Muchos operadores optan por levantamientos mensuales mediante satélite en los meses de verano para optimizar sus programas de medición cuando el tiempo es más adecuado para la captura.
4. **LiDAR** no suelen capturarse más de una vez al año debido a sus altos costos y complejidades de procesamiento. Un plazo más común para ayudar a gestionar el gasto es entre dos y cinco años.

Vida Útil de la Tecnología

- 1. Los satélites ópticos de alta resolución** generalmente se lanzan con una vida útil prevista de aproximadamente ocho años. Sin embargo, esta es una estimación muy conservadora, ya que WorldView-1 (lanzado en 2007), WorldView-2 (lanzado en 2009) y WorldView-3 (lanzado en 2014) de Maxar Technologies siguen funcionando en la actualidad (ESA, 2022, párr. 2, puntos 1 a 3). Las empresas de satélites están innovando constantemente, a menudo desarrollando nuevos satélites antes (o inmediatamente después) del lanzamiento de la generación anterior para garantizar la continuidad de los datos.
- 2. La vida útil de LiDAR** depende de varios factores, incluida la calidad de sus componentes de hardware, la calibración de sus sensores y la frecuencia e intensidad de uso. A medida que evolucionan las tecnologías LiDAR, estos continuos avances impulsan la necesidad de actualizaciones o reemplazos. Debido a que está montado en una aeronave, el sensor propiamente dicho es fácilmente reemplazable, por lo que la vida útil no es tan crítica como un satélite que no se puede reparar o un dron que es un activo del sitio minero.
- 3. Los ciclos de vida del dron** generalmente están determinados por la duración de la batería y los ciclos de carga. La duración de la batería de un dron determina cuánto tiempo puede permanecer en vuelo, en tanto los drones comerciales de alta gama ofrecen tiempos de vuelo de 45 a 60 minutos (ESA, 2022, párr. 2, puntos 1 a 3). Los drones industriales especializados que aprovechan tecnologías avanzadas de baterías posiblemente pueden duplicar este tiempo de vuelo. Las baterías de polímero de iones de litio (LiPo) normalmente solo se pueden recargar entre 300 y 500 ciclos antes de una pérdida perceptible de capacidad.

Un Equilibrio entre las Fortalezas y Debilidades de los Levantamientos

Como muestra este análisis comparativo, cada tecnología de levantamiento presenta ventajas y desventajas particulares e inevitables compensaciones que los profesionales de la minería deben equilibrar.

- **Los satélites ópticos de alta resolución** son ideales para cubrir áreas más grandes. Aunque la precisión de los datos es ligeramente inferior a la de otras tecnologías, sigue siendo más que adecuada para la mayoría de las aplicaciones de ingeniería de minas y relaves. Esto lo convierte en una herramienta valiosa para capturar un sitio minero completo en una sola imagen instantánea sin necesidad de permisos ni operadores in situ.
- **Los drones** destacan por cubrir áreas pequeñas con buena resolución y alta precisión relativa. Sin embargo, requieren varios vuelos para cubrir áreas más grandes, lo que puede dar lugar a errores de desfase. También requieren permisos y operadores in situ, que no son adecuados para áreas remotas o peligrosas.
- **LiDAR** ofrece la mejor precisión absoluta e incluso puede atravesar áreas con vegetación. Sin embargo, estas ventajas tienen un costo. Esta tecnología es la más costosa y compleja de coordinar, y requiere el tiempo de procesamiento más prolongado para convertir los datos brutos en información utilizable.
- **Los satélites ópticos de revisita rápida** pueden medir áreas de cobertura más grandes que los drones y capturar datos con más frecuencia que los satélites ópticos de alta resolución. Sin embargo, la resolución de píxel y la precisión absoluta de los satélites ópticos de revisita rápida son actualmente más bajas que las otras tecnologías analizadas aquí.

Con un enfoque integral para utilizar estas herramientas en combinación, los profesionales de la minería pueden compensar las limitaciones de cada tecnología y aprovechar sus ventajas únicas como parte de un sólido programa de levantamiento topográfico. Por ejemplo:

- **Los datos de satélites y LiDAR** pueden proporcionar levantamientos de referencia integrales que sirven como control de calidad para datos específicos de los drones.
- **Los datos de satélites y LiDAR** pueden proporcionar monitoreo a largo plazo (e incluso vistas históricas en el caso de datos satelitales de archivo). Por otro lado, los satélites ópticos de revisita rápida y los drones pueden centrarse en las variaciones semanales en las instalaciones de almacenamiento de relaves.

Al combinar estas tecnologías complementarias, los operadores pueden maximizar el valor de varios conjuntos de datos para obtener una imagen más completa de la topografía de sus emplazamientos mineros, obteniendo la precisión y la confianza necesarias para tomar decisiones cruciales basadas en datos que pueden afectar la seguridad, la eficiencia y la rentabilidad de sus operaciones mineras.

Referencias:

Li Dar Vs in sar. SatSense. (23 de agosto de 2021). <https://satsense.com/news/lidar-vs-insar>
Agencia Espacial Europea. (6 de diciembre de 2022). Worldview series. Earth Online. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/worldview>
What is the longest lasting drone battery? Grepow. (2024). <https://www.grepow.com/blog/what-is-the-longest-lasting-drone-battery.htm>

¿Listo para explotar el potencial de las imágenes de los satélites ópticos de alta resolución para mejorar sus operaciones mineras?

Solicite una cotización hoy mismo en:
PhotoSat.ca

