

Evaluación de la Magnetometría con Drones para la Detección de Escombros Ferrosos Enterrados (Metales Trampa) en Minas a Cielo Abierto

31 de marzo de 2026



Las operaciones mineras a cielo abierto a menudo se enfrentan a daños recurrentes en los equipos cuando los escombros ferrosos ingresan a las trituradoras de roca, lo que interrumpe la producción y genera costosos tiempos de inactividad. Este estudio de caso demuestra cómo Altomaxx utilizó el magnetómetro MagDrone R3 junto con la plataforma DJI M300 y el software de planificación de vuelo UgCS para identificar escombros metálicos que amenazaban una operación minera a cielo abierto.

Un Vistazo Rápido

- **Socio:** [Altomaxx](#)
- **Aplicación:** Detección de escombros ferrosos y mapeo de riesgos en una operación minera activa.
- **El Reto:** Los escombros metálicos entraban en la trituradora de roca, causando daños a los equipos y paradas de producción.
- **Solución:** Estudio de magnetometría montado en dron utilizando el [MagDrone R3](#) en un DJI M300 con estación base DJI RTK, [el ordenador a bordo SkyHub](#) y el [software de planificación de vuelo UgCS](#).
- **Resultado Clave:** Se detectaron con éxito pequeños objetivos ferrosos a profundidades de hasta 3,5 metros a través de roca triturada, con tamaños que variaban desde piedras del tamaño de una cartera hasta rocas gigantes.

Antecedentes: Escombros Metálicos Amenazando Equipos en una Mina a Cielo Abierto Activa

En la mina en cuestión, las paradas recurrentes de producción se debían a los escombros metálicos que ingresaban en la trituradora de roca. Los dientes de la cuchara de la cargadora, componentes del tamaño de una pelota de béisbol hechos de acero endurecido, se mezclaban con el flujo de material y dañaban gravemente los equipos de procesamiento críticos. La mina necesitaba un método urgente para escanear las pilas de rocas e identificar los escombros ferrosos enterrados antes de que el material entrara en la trituradora, y todo ello sin interrumpir las operaciones mineras activas.

El Reto: Detectar Escombros Ferrosos Enterrados en Operaciones Mineras Activas

El área operativa presentaba limitaciones prácticas muy significativas. El terreno rocoso y la maquinaria pesada en funcionamiento constante hacían que la inspección manual fuera peligrosa y poco práctica. Se evaluó y descartó rápidamente el uso de un detector de metales portátil: la magnitud del campo de escombros y la presencia de grandes volúmenes de roca triturada hacían que el escaneo a nivel del suelo por parte del personal fuera ineficiente e inseguro.

El principal reto técnico consistía en detectar pequeños objetos ferrosos enterrados bajo roca triturada densa a profundidades variables, a lo largo de una extensa superficie, mientras las operaciones mineras continuaban en las proximidades. Además, la solución debía proporcionar coordenadas de ubicación exactas, no solo una señal de detección, para permitir la remoción focalizada de los escombros antes de que alcanzaran la trituradora.

La Solución: Estudio de Cuadrícula Automatizado con Magnetómetro Montado en Dron y Posicionamiento RTK

Tras evaluar la disposición del sitio, las operaciones y los escombros de muestra, el equipo estableció un área de preparación y ensambló el sistema de magnetometría del dron para el vuelo.

Los componentes clave fueron:

- **Dron DJI M300:** La plataforma VANT (vehículo aéreo no tripulado) que transporta la carga útil del magnetómetro, permitiendo la captura de datos mientras se mantiene al personal alejado del campo de escombros y soportando una planificación de vuelo automatizada y precisa en toda el área operativa.
- **Estación Base DJI RTK:** Proporcionó una precisión de posicionamiento GPS mejorada para un mapeo exacto de las ubicaciones de los objetivos detectados.
- **Magnetómetro SENSYS MagDrone R3:** Una carga útil de magnetómetro fluxgate montado en el dron, configurable y operativo a los pocos minutos de su instalación.
- **Ordenador a Bordo SkyHub:** La unidad de procesamiento a bordo que gestiona la recopilación de datos del sensor y la georreferenciación durante el vuelo.
- **UgCS:** El software de planificación de vuelo y control de misiones utilizado para ejecutar el estudio de cuadrícula automatizado.

El equipo creó un plan de vuelo en cuadrícula que cubría los cuadrantes X e Y, y lo cargó en la estación base del dron. Utilizando un **altímetro láser**, el dron navegó hasta su primer punto de ruta y voló la cuadrícula completa mientras seguía perfectamente la elevación del terreno. Al finalizar, el M300 regresó automáticamente a su punto de partida.

La prueba inicial consistió en enterrar muestras de escombros de acero a seis pulgadas (aprox. 15 cm) de profundidad para confirmar la detección básica.

A continuación, se llevó a cabo una prueba más exigente: una cargadora pesada enterró objetivos de ejemplo a profundidades de uno a cinco metros en múltiples ubicaciones. Roca triturada, que iba desde piedras del tamaño de una cartera hasta rocas gigantes, cubrió los objetivos para replicar fielmente las condiciones operativas reales. El mismo plan de vuelo se ejecutó sobre el área de prueba ampliada.



Ilustración: Ejemplos de escombros enterrados a profundidades de 1 a 5 metros con roca triturada pesada.



Ilustración: Objetivos ferrosos enterrados a diferentes profundidades para su evaluación.

Resultados: Detección de Objetivos Ferrosos a Profundidades de hasta 3,5 m

Una vez completados los vuelos en cuadrícula, el equipo examinó el conjunto de datos. En la prueba inicial de enterramiento a seis pulgadas, el sistema confirmó y mapeó con éxito las ubicaciones de los objetivos, las profundidades y las intensidades del campo magnético sin ningún contratiempo.

En la prueba más exigente, con objetivos enterrados a entre uno y cinco metros de profundidad bajo pesada roca triturada, el estudio con el magnetómetro del dron detectó objetivos ferrosos relativamente pequeños a profundidades de hasta **3,5 metros**. El informe señala que los objetivos ferrosos más grandes superarían el umbral de los 3,5 metros, dado el excelente rendimiento del sensor con los artículos de prueba más pequeños.

La integración de la estación base RTK proporcionó una precisión de ubicación milimétrica en toda el área de estudio. El resultado del software SENSYS produjo un conjunto de datos claro y fácil de interpretar con coordenadas

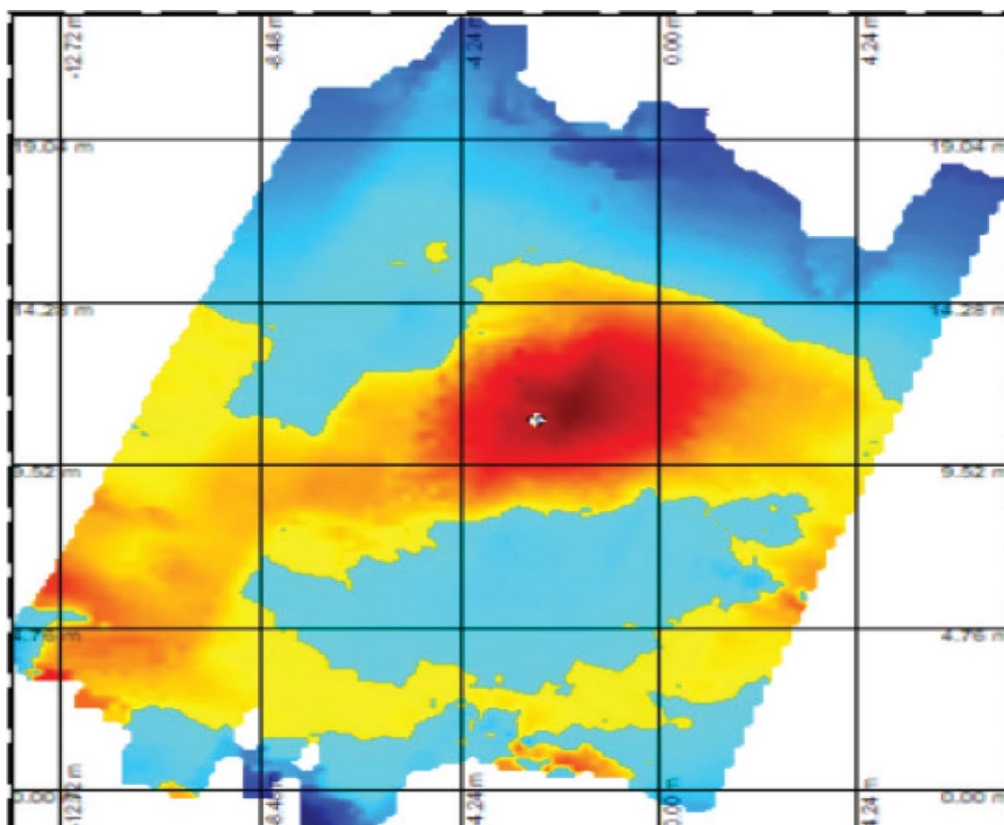


Ilustración: Conjunto de datos que muestra la ubicación magnética y los retornos de la señal.

precisas de ubicación magnética y valores de retorno de señal para cada objetivo detectado.

Conclusión: La Magnetometría con Drones Demuestra ser una Solución Viable para la Detección de Escombros Industriales

Este proyecto confirmó de manera contundente que la magnetometría basada en drones es un método viable y sumamente práctico para detectar escombros ferrosos enterrados en entornos dinámicos de minería a cielo abierto. El enfoque también elimina por completo los riesgos de seguridad que conlleva el escaneo manual en zonas industriales activas, abordando simultáneamente el problema de la protección de los equipos y la vital preocupación por la seguridad humana.

Este flujo de trabajo ofrece un modelo altamente replicable para la detección de escombros y la identificación de riesgos, no solo en la minería, sino en diversos entornos de la industria pesada.