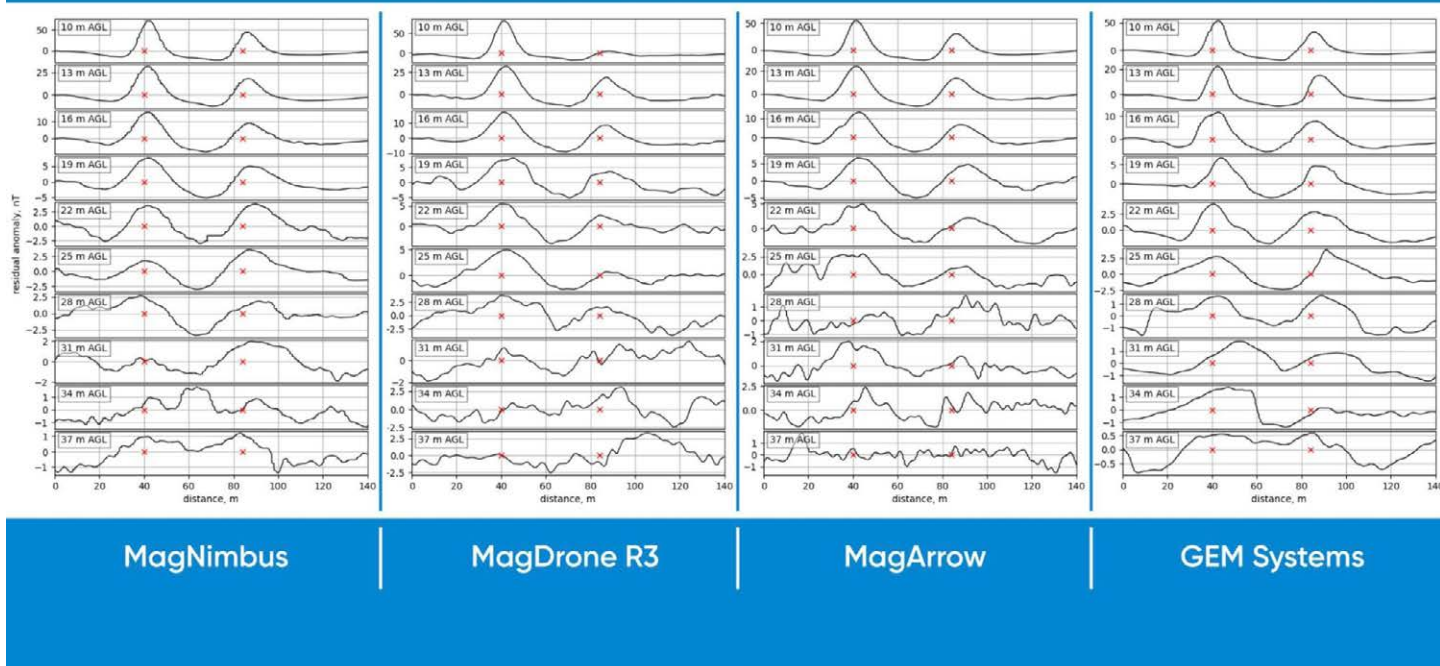


Comparación de magnetómetros basados en UAV: prueba a gran altitud

2 de abril de 2024



Este informe muestra los resultados de un estudio de prueba destinado a comparar cuatro magnetómetros basados en UAV (vehículos aéreos no tripulados) diferentes y sus capacidades para detectar grandes objetos magnéticos a gran altitud. Las configuraciones se volaron sobre dos vehículos a alturas crecientes. Esta prueba ayuda a estimar el rendimiento de las configuraciones, por ejemplo, en la localización de infraestructuras profundamente enterradas o en la realización de un estudio magnético en un terreno inaccesible, donde los vuelos deben realizarse a una distancia segura, es decir, por encima de una copa de árbol.

La prueba se llevó a cabo el 21 de septiembre de 2023 en el campo de pruebas de UAV de SPH Engineering en Baloži, Letonia (N 56,8631°, E 24,1119°). La detección de objetivos y el procesamiento de datos se realizaron utilizando el software Seequent Oasis Montaj. Los dispositivos utilizados en esta prueba fueron MagNIMBUS de SPH Engineering, MagDrone R3 de SENSYS, MagArrow II de Geometrics y DRONEmag GSMP-35U de GEM Systems.

Datos recogidos por Sergejs Kucenko¹.

Procesamiento de datos e informe por Matīss Brants¹.

¹SPH Engineering SIA, Letonia

Descargo de responsabilidad

El término “detectado” significa aquí que el intérprete de los datos ha identificado una señal lo suficientemente fuerte como para justificar un examen o una acción posteriores. Las interpretaciones son subjetivas y cambiarán en función de la experiencia y los conocimientos del intérprete.

Ni SPH Engineering SIA, ni SENSYS Sensorik & Systemtechnologie GmbH, ni Geometrics Inc. ni GEM Systems Inc. afirman ni garantizan que la detección de objetivos iguales o similares esté garantizada en condiciones distintas a las del campo de pruebas de SPH Engineering utilizando el mismo hardware, software y flujo de trabajo, o diferentes.

Este informe se proporciona “tal cual” y tiene por objeto demostrar las capacidades del sistema aquí descrito y proporcionar algunas orientaciones para la planificación de estudios de detección de servicios públicos.

[Acceso a muestra de datos](#)

Métodos

Configuración de la prueba

Se aparcaron dos vehículos, un Volkswagen Touareg de 1ra generación y un Ford Mustang de 5ta generación, en una carretera de 190 m de longitud adyacente al campo de pruebas de drones (figura 1). Todas las configuraciones de drones se volaron a lo largo del tramo a diferentes altitudes, desde 10 metros hasta 37 metros sobre el nivel del suelo (AGL), en incrementos de 3 metros. La distancia entre ambos vehículos era de aproximadamente 45 metros. El azimut de la carretera es de 120°. En el extremo noroeste de la carretera había otros coches aparcados y un edificio de estructura metálica, mientras que el extremo sureste conduce a una zona boscosa. No había objetos metálicos lo suficientemente grandes a ambos lados de la carretera como para causar interferencias a las altitudes probadas. Se utilizaron más de 20 metros en los extremos de la trayectoria de vuelo como escorrentía para disminuir la influencia de los cambios de velocidad y los giros.



Figura 1. Los vehículos de prueba estacionados en la línea de perfil en el campo de pruebas de SPH Engineering.

Magnetómetros

Todos los magnetómetros se fijaron a un UAV DJI Matrice 300 RTK, que utilizaba GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) con RTK (Cinemática en Tiempo Real) para un posicionamiento preciso. Para el geoetiquetado, se utilizó un enfoque diferente para los distintos magnetómetros:

- MagNIMBUS: el registro de datos se realiza en el ordenador de a bordo SkyHub utilizando el flujo de coordenadas del receptor GNSS del dron, que estaba en modo RTK durante las pruebas.
- MagDrone R3: ese magnetómetro tiene un registrador de datos interno, pero el flujo de coordenadas se suministraba desde el receptor GNSS del dron a través del ordenador de a bordo SkyHub.
- MagArrow II: tiene un registrador de datos interno y un receptor GNSS RTK interno, pero durante las pruebas estaba en modo no RTK. Después se sustituyeron las coordenadas de vuelo en los datos por coordenadas precisas del registro de vuelo, que fue grabado por SkyHub (el dron estaba en modo RTK).
- DRONEmag GSMP-35U: tiene una grabadora de datos interna, y se conectó un receptor GNSS independiente directamente a la grabadora. Ese receptor GNSS estaba en modo no RTK, y las coordenadas de los datos registrados se refinaron utilizando la pista de vuelo registrada por SkyHub.

MagNIMBUS

El sistema MagNIMBUS fabricado por SPH Engineering (figura 2) utiliza un magnetómetro de campo total QuSpin colocado en el extremo de un “brazo” plegable bajo el UAV, que protege el sistema de daños en caso de colisión con obstáculos inesperados y permite vuelos extremadamente bajos con relativa seguridad. El sensor QuSpin registra la intensidad magnética total a una frecuencia de 500 Hz, lo que le permite filtrar cualquier ruido magnético captado por las partes eléctricas del UAV y las fuentes electromagnéticas alternas cercanas, como las líneas eléctricas. El aparato se hizo volar a una velocidad constante de 5 m/s.



Figura 2. Magnetómetro MagNIMBUS de SPH Engineering.

MagDrone R3

El MagDrone R3 de SENSYS GmbH es un sistema magnetométrico (figura 3) con dos sensores vectoriales fluxgate de 3 ejes integrados en los extremos de un tubo de un metro de longitud. Esta configuración de doble sensor reduce el tiempo de vuelo en al menos un 50% en comparación con las configuraciones de un solo sensor. El dispositivo se fija directamente a las patas del UAV, lo que proporciona un movimiento estable y relativamente predecible de los sensores, al tiempo que sitúa los magnetómetros más cerca de la interferencia magnética de los motores del UAV. Ambos sensores registran el campo magnético en los tres ejes a una frecuencia de muestreo de 250 Hz para permitir la eliminación del ruido alterno de los motores del UAV y de otras fuentes como las líneas eléctricas. La configuración se voló a una velocidad constante de 5 m/s.



Figura 3. Configuración del magnetómetro MagDrone R3 de SENSYS.

MagArrow II

El magnetómetro MagArrow II de Geometrics (figura 4) utiliza una configuración de suspensión de cables en una carcasa aerodinámica para colocar el sensor del magnetómetro de campo total lo más lejos posible de la interferencia del UAV. Incluso en este caso, la elevada frecuencia de muestreo de 1.000 Hz permite filtrar cualquier ruido magnético alternativo causado por el UAV o cualquier otra fuente, como las líneas eléctricas. La configuración suspendida aumenta el movimiento de la carcasa del magnetómetro, lo que provoca cambios en la lectura del campo magnético; por lo tanto, es muy recomendable realizar un vuelo de calibración del rumbo. Para esta prueba, el magnetómetro MagArrow II se suspendió en un sistema de cables de 3 metros de longitud, y el vuelo se realizó a una velocidad constante del UAV de 4 m/s.



Figura 4. El magnetómetro MagArrow II de Geometrics suspendido.

DRONEmag GSMP-35U

El DRONEmag GSMP-35U de GEM Systems es un sistema magnetométrico de campo total (figura 5) suspendido en un cable de 3-5 m desde el UAV. Esta configuración proporciona la máxima distancia de la interferencia magnética de los motores del UAV. Esta configuración permite una frecuencia de muestreo mucho más baja, de un máximo de 20 Hz, que los sensores de los fabricantes. Una frecuencia de muestreo baja también facilita y acelera el procesamiento de los datos. La configuración se suspendió en un cable de 5 metros de longitud y se voló a una velocidad constante del UAV de 4 m/s.



Figura 5. Configuración del magnetómetro DRONEmag GSMP-35U de GEM Systems.

Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos magnéticos se realizó de forma similar para todos los sistemas, excepto para las conversiones específicas de formato de datos para los sistemas MagDRONE R3 y MagArrow II, que requirieron software propietario. El flujo de trabajo general se describe en la Figura 6, con una descripción detallada paso a paso de todas las configuraciones en el Apéndice. El software principal utilizado fue Geosoft Oasis Montaj Standard Edition v.2023.1. utilizando sólo las características del módulo base y métodos de procesamiento bien documentados. Todos los pasos pueden repetirse con resultados similares utilizando software cerrado y de código abierto. Los datos procesados se visualizaron como una línea de anomalía magnética residual 1D a diferentes alturas utilizando el módulo Pandas de Python.



Figura 5. Configuración del magnetómetro DRONEmag GSMP-35U de GEM Systems.

Resultados

Todos los sensores detectaron señales de campo magnético separadas de ambos vehículos a una altura de hasta 25 m AGL. Hay que señalar que a la altura máxima de 37 metros, el campo magnético de ambos coches está en el umbral de ser físicamente inseparables.

Los datos del sensor MagNIMBUS (figura 7) muestran claramente dos señales magnéticas separadas hasta 28 metros sobre el nivel del suelo (AGL). En cambio, la señal a mayor altura parece algo ambigua debido al ruido (muy probablemente causado por el vaivén del viento). Pero incluso hasta los 37 m AGL hay un visible aumento de la señal magnética cerca de las posiciones de los vehículos, aunque esto podría ser sólo un artefacto casual causado por la eliminación de la tendencia magnética regional.

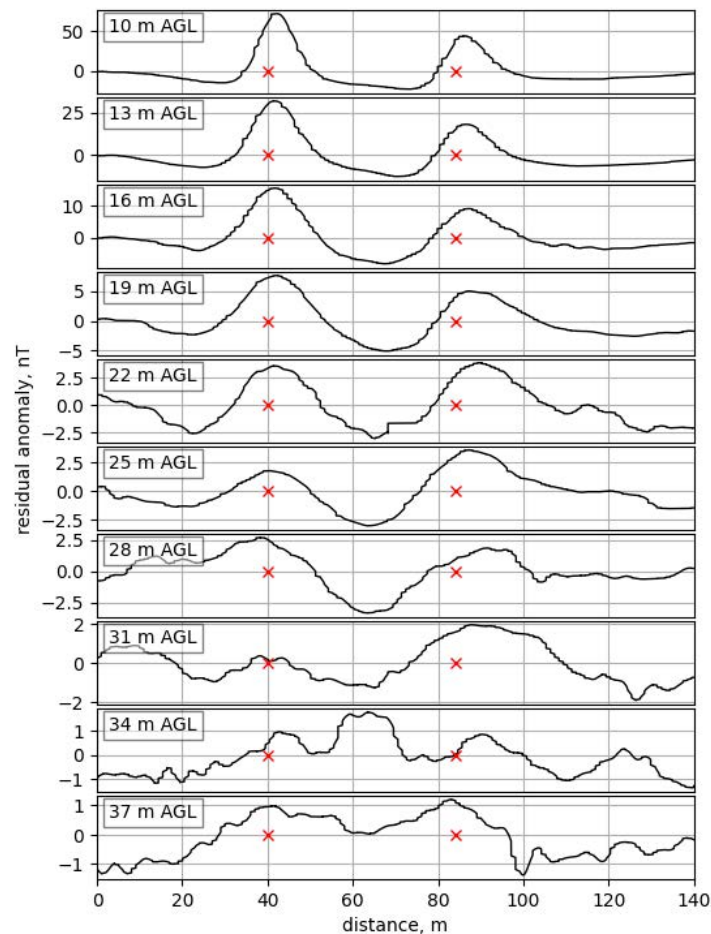


Figura 7. Anomalía residual a diferentes alturas

Anomalía residual a diferentes alturas a partir de los datos del magnetómetro MagNIMBUS. Las cruces rojas indican la posición de los vehículos (izquierda: todoterreno, derecha: deportivo).

El sensor MagDrone R3 (figura 8) funcionó de forma similar hasta una altura de 28 m AGL, donde aún pueden identificarse las señales de ambos vehículos. Sin embargo, a mayor altitud, el ruido es demasiado intenso para discernir los cambios provocados por los vehículos. Esto se debe probablemente al mayor ruido de fondo del sensor MagDrone R3, pero también hay que tener en cuenta el efecto del viento. El pico bajo del segundo vehículo a 10 m AGL se debió a que el dron se desvió por error del rumbo.

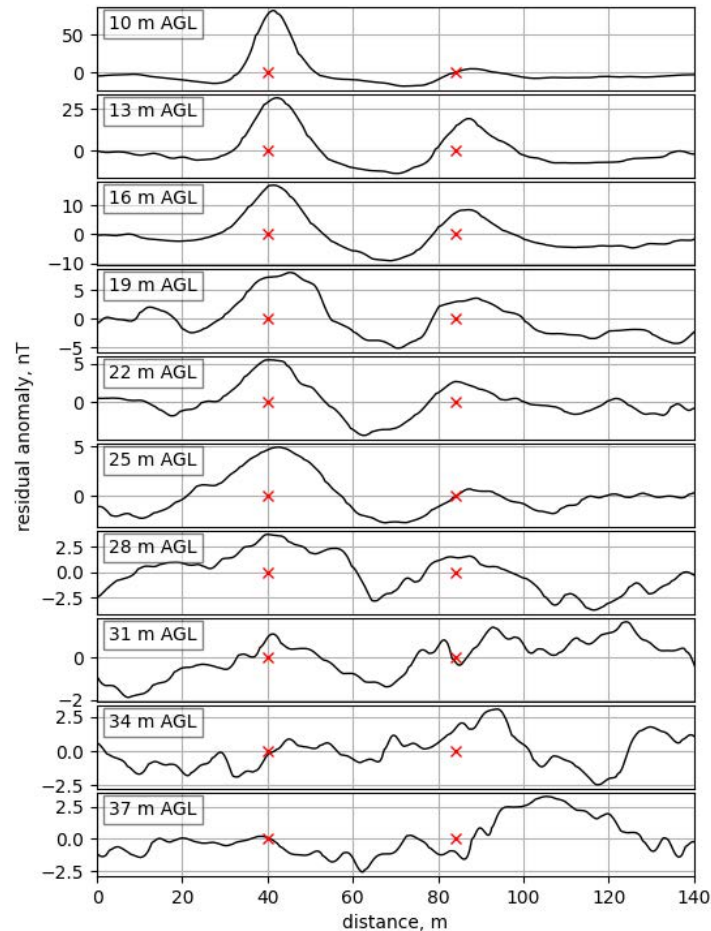


Figura 8. Anomalía residual a diferentes alturas a partir de los datos del magnetómetro MagDrone R3. Las cruces rojas indican la ubicación de los vehículos (izquierda: todoterreno, derecha: coche deportivo).

Los datos del MagArrow II (figura 9) muestran dos picos claros hasta los 25 m AGL. En cambio, a 28 m AGL, parece haber algunas distorsiones en la señal (probablemente debidas al balanceo del sensor con el viento), pero lo más probable es que siga considerándose una detección positiva. Dos picos de señal son algo visibles a 31 m AGL y, en menor medida, a 34 m AGL. A 37 m AGL, no hay ninguna anomalía visible en los vehículos.

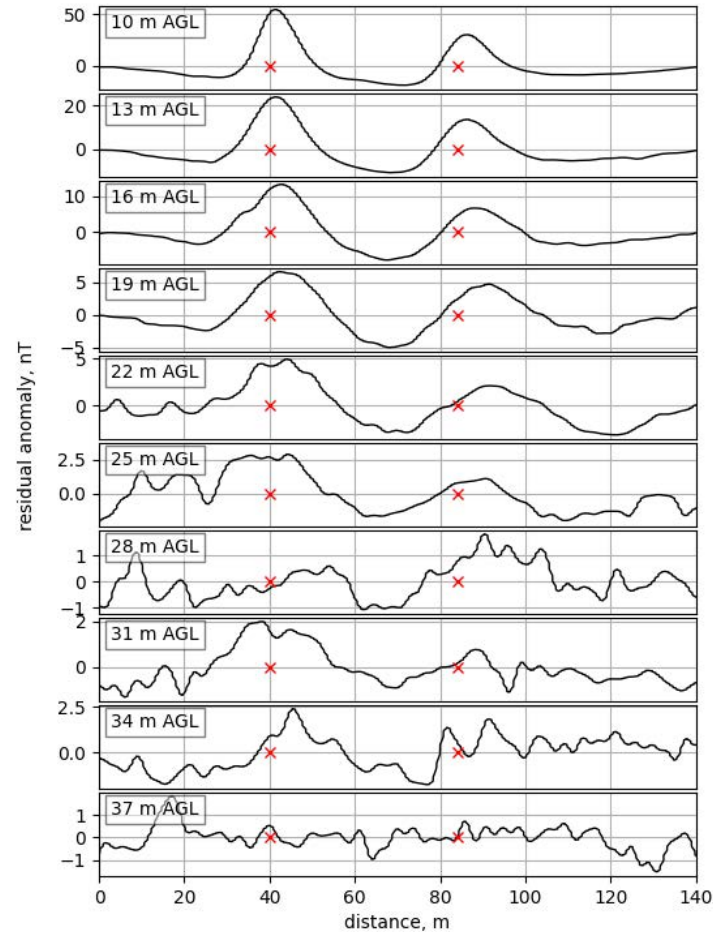


Figura 9. Anomalía residual a diferentes alturas a partir de los datos del magnetómetro MagArrow II. Las cruces rojas denotan las ubicaciones de los vehículos (izquierda - SUV, derecha - coche deportivo).

El GSMP-35U muestra los mejores resultados (Figura 10) al detectar claramente ambos vehículos a una altura de hasta 34 m AGL. Posiblemente, incluso a 37 m AGL, aunque esto podría deberse a la eliminación en de la tendencia regional, como ocurre con el sensor MagNIMBUS. Lo más probable es que los resultados del GSMP-35U se deban a que el ruido de fondo del sensor es muy bajo.

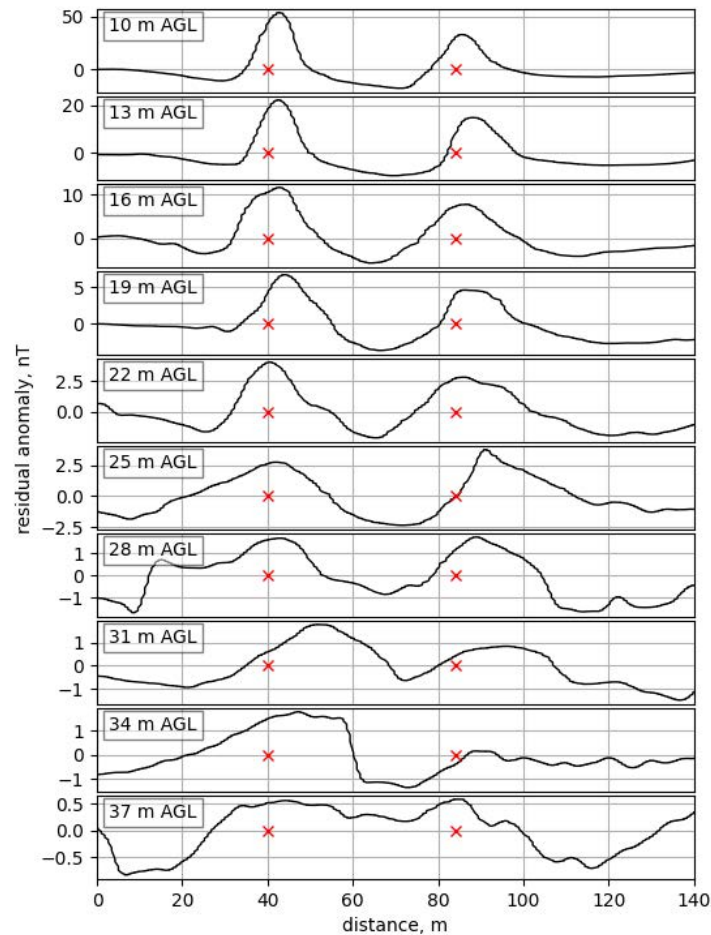


Figura 10. Anomalía residual a diferentes alturas a partir de los datos del magnetómetro GSMP-35U. Las cruces rojas indican la ubicación de los vehículos (izquierda - SUV, derecha - coche deportivo).

Conclusiones

1. Las señales magnéticas de dos vehículos de prueba fueron detectadas por todos los sensores a una altura de hasta 25 metros sobre el nivel del suelo (AGL), después de lo cual los resultados comenzaron a variar.
2. El GSMP-35U obtuvo los mejores resultados al seguir detectando una señal notable a una altura de 34 m AGL.
3. El MagArrow II y el MagNIMBUS también podrían haber detectado los vehículos a las mayores altitudes, pero los resultados son ambiguos.
4. El MagDrone R3 no mostró ninguna señal clara por encima de los 28 m AGL, probablemente debido al mayor ruido de fondo causado por el sensor montado cerca de los motores de los drones.
5. Cuando se realice un estudio magnético en el que se espera que la señal magnética esté justo por encima del ruido de fondo del sensor, se recomienda alejar los vehículos cercanos al menos 40 metros de la zona de estudio.

Apéndice – pasos del procesamiento de datos

MagNIMBUS

1. Dividir los datos en líneas por altitud;
2. Aplicado filtro de paso bajo 500 fiduciales (5 metros);
3. Corrección de retraso de -150 puntos de referencia;
4. Se ha eliminado la tendencia polinómica de primer orden y se ha creado un residuo;
5. Se ha eliminado la tendencia polinómica de orden 2º y se ha creado un residuo (utilizado en la interpretación de los datos).

MagDRONE R3

Utilizando MagDrone DataTool:

1. Dividido en pistas.
2. Sin filtros ni reducción de muestreo.
3. Datos GNSS RTK cargados.
4. Exportado a archivo .asc.

Utilizando Oasis Montaj:

1. Dividir los datos en líneas por sensor y altitud;
2. Se aplicó un filtro de paso bajo de 250 puntos de referencia (5 metros);
3. No se necesitó corrección de Lag;
4. Se eliminó la tendencia polinómica de primer orden y se creó un residuo;
5. Se eliminó la tendencia polinómica de segundo orden y se creó un residuo (utilizado en la interpretación de los datos).

MagArrow II

Utilizando Geometrics Survey Manager:

1. Datos convertidos de MagArrow .magdata a formato de datos .csv.

Uso de Oasis Montaj:

1. Dividir los datos en líneas por altitud;
2. Aplicado filtro de paso bajo 1250 fiduciales (5 metros);
3. Aplicada la corrección Lag de +150 fiduciales;
4. Eliminada la tendencia polinómica de 1º orden y creado un residuo;
5. Eliminación de la tendencia polinómica de segundo orden y creación de un residuo (utilizado en la interpretación de los datos).

GSMP-35U

Utilizando Oasis Montaj:

1. Dividir los datos en líneas por altitud;
2. Aplicado filtro de paso bajo 25 fiduciales (5 metros);
3. Aplicada la corrección Lag de +18 fiduciales;
4. Eliminada la tendencia polinómica de 1º orden y creado un residuo;
5. Eliminación de la tendencia polinómica de segundo orden y creación de un residuo (utilizado en la interpretación de los datos).